

**PENGARUH FRAKSI-X SELENIUM PADA STRUKTUR DAN PARAMETER KISI
Pb(S,Se) MASIF PREPARASI TEKNIK BRIDGMAN*****THE EFFECT OF SELENIUM X-FRACTION ON THE STRUCTURE AND LATTICE
PARAMETERS OF MASSIVE Pb(S,Se) LATTERING IN BRIDGMAN TECHNICAL
PREPARATION***

Sardila Ayu Ihwani*, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia
Ariswan, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia
*e-mail: sardilaayu.2019@student.uny.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi X atom *selenium* (Se) pada struktur kristal dan parameter kisi bahan semikonduktor Pb(S,Se) dalam bentuk masif, yang dipreparasi menggunakan teknik Bridgman. Kristal ditumbuhkan dengan memanaskan bahan Pb(S,Se) dengan alur suhu tertentu yaitu dipanaskan sampai pada suhu 300°C selama 2 jam dan selanjutnya pada suhu 600°C, pemanasan dilakukan juga selama 4 jam. Hasil XRD menunjukkan bahwa variasi fraksi x atom selen tidak berpengaruh pada struktur kristal yaitu kubik. Namun x fraksi atom selenium tersebut berpengaruh pada parameter kisi kristal $Pb(S_{1-x}, Se_x)$. Hasil perhitungan analitik parameter kisi yang dihasilkan yaitu, PbSe sebesar $a = b = c = 6,1399 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$ sebesar $a = b = c = 6,0748 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$ sebesar $a = b = c = 6,0741 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$ sebesar $a = b = c = 6,0224 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$ sebesar $a = b = c = 5,9926 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ sebesar $a = b = c = 5,9909 \text{ \AA}$, dan PbS sebesar $a = b = c = 5,9685 \text{ \AA}$.

Kata kunci : *Pb(S,Se), Struktur Kristal, Parameter kisi, Teknik Bridgmana*

Abstract. This research aims to investigate the effect of Selenium (Se) atomic x fraction on the crystal structure and lattice parameters of Pb(S,Se) semiconductor material in bulk form. prepared using the Bridgman technique. The crystals were grown by heating the Pb(S,Se) The material at temperatures of 300°C and 600°C, with each heating step lasting 2 hours and 4 hours, respectively. XRD results showed insignificant variations in the crystal structure with changing X fraction, but it did influence the lattice parameters of $Pb(S_{1-x}, Se_x)$. The analytical calculations yielded the following lattice parameters: PbSe were $a = b = c = 6,1399 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$ were $a = b = c = 6,0748 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$ were $a = b = c = 6,0741 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$ were $a = b = c = 6,0224 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$ were $a = b = c = 5,9926 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ were $a = b = c = 5,9909 \text{ \AA}$, and PbS were $a = b = c = 5,9685 \text{ \AA}$.

Keywords: *Pb(S,Se), Crystal Structure, Lattice Parameters, Bridgman Technique.*

PENDAHULUAN

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus berkembang membawa beberapa pendekatan baru pada penelitian dan pengembangan bagi kehidupan modern. Banyak komponen elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti diode, transistor dan IC (*integral circuit*). Elektronika berkembang sangat pesat setelah ditemukannya komponen-komponen semikonduktor yang memberikan berbagai macam sifat kelistrikan yang unik dan hampir memecahkan semua masalah elektronika. Oleh karena itu telah dikembangkan berbagai piranti elektronika yang dibuat dari bahan semikonduktor yang memiliki efisiensi tinggi (Rio & Iida, 1982).

Piranti elektronika dalam bentuk komponen-komponen penyusun alat yang dapat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengatur sifat-sifat elektron dalam bahan semikonduktor. Peralatan semikonduktor yang berkualitas diperoleh berdasarkan dua buah aspek, yaitu “kemurnian” dan “kesempurnaan dari kristal tunggal” bahan utama penyusun alat-alat tersebut. Kristal semikonduktor secara umum memiliki keterkaitan dengan penambahan ketidakmurnian yang berpengaruh pada pembawa muatan. Hal ini memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik komponen yang dibuat. Namun sebaliknya, semakin sempurna hasil pembentukan kristal yang berarti mempunyai kerusakan sangat sedikit, maka kesempurnaan kristal ini sangat menentukan karakteristik komponen yang dibuatnya (Rio & Iida, 1982).

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah bahan semikonduktor *ternary* $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dengan nilai $x = 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ;$ dan 1. Material tersebut merupakan gabungan unsur *Plumbum* (Pb), *Sulfur* (S), dan *Selenium* (Se). *Plumbum* (Pb) termasuk golongan IV pada tabel periodik, mempunyai nomor atom 82, massa atom 207,2 gram/mol, titik lebur 327,5°C dan berstruktur kristal kubik. *Sulfur* (S) termasuk golongan VI pada tabel periodik mempunyai nomor atom 16, massa atom 32,065 gram/mol, titik lebur 115,21°C dan berstruktur kristal ortorombik. *Selenium* (Se) termasuk golongan VI pada tabel periodik, nomor atom 34, massa atom 78,96 gram/mol, titik lebur 221°C, dan berstruktur kristal hexagonal.

Preparasi bahan semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dilakukan dengan memvariasi fraksi x atom *selenium* pada bahan masif sebanyak tujuh macam yaitu PbSe, $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$, $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$, $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$, $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$, $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ dan PbS. Penumbuhan kristal $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dilakukan menggunakan teknik Bridgman, karena prosesnya yang sederhana dan dapat dilakukan di Laboratorium Material FMIPA UNY. Disamping itu teknik Bridgman dipilih karena dalam metode ini memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan metode lainnya yaitu : (a) temperatur dapat dikontrol, (b) kecepatan pembekuan bahan dapat diatur, (c) kecepatan penurunan temperatur dapat dikontrol, (d) tekanan mekanis di dalam bahan juga dapat ditentukan, dan (e) kenaikan temperatur telah diatur sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi timbulnya bahaya ledakan yang diakibatkan oleh unsur tertentu pada saat mencapai temperatur kritisnya.

Pada penelitian ini variasi fraksi x atom *selenium* diharapkan agar setelah dilakukan karakterisasi dapat terlihat dengan jelas besarnya pengaruh perbandingan atau penambahan unsur terhadap parameter yang di uji. Untuk mengetahui karakteristik semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$, bahan material hasil preparasi dengan teknik Bridgman tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi bahan semikonduktor. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu ditentukan identifikasi masalah material semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ untuk mengetahui bagaimana pengaruh fraksi x atom *selenium* (Se) pada struktur kristal dan parameter kisi material semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif hasil preparasi menggunakan teknik Bridgman.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ hasil preparasi menggunakan teknik Bridgman. Karakterisasi dilakukan dengan X-Ray Diffraction (XRD) untuk menganalisis struktur kristal dan parameter kisi bahan semikonduktor. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi X atom *selenium* (Se) terhadap struktur kristal dan parameter kisi material semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dalam bentuk masif.

METODE

Proses penumbuhan kristal menggunakan metode Bridgman melibatkan pemanasan sampel dari suhu awal ruangan sebesar $27^{\circ}C$ hingga mencapai suhu tertentu, dalam hal ini $300^{\circ}C$. Pada suhu $300^{\circ}C$, sampel ditahan selama 2 jam untuk mencapai suhu yang seragam dan stabil sebelum pemanasan selanjutnya. Kemudian, suhu dinaikkan menjadi $600^{\circ}C$ dan ditahan selama 4 jam. Setelah 4 jam, suhu dikembalikan pada suhu awal ruangan untuk menyelesaikan proses pemanasan.

Setelah proses penumbuhan selesai, dapat dilihat bahwa kristal yang terbentuk dari preparasi ini berbentuk masif dan berwarna abu-abu kehitaman. Sampel-sampel tersebut dikeluarkan dari *furnace* dalam keadaan suhu yang rendah untuk selanjutnya diproses lebih lanjut melalui tahap karakterisasi. Material semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif yang telah di preparasi menggunakan metode Bridgman kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRD digunakan untuk memahami informasi mengenai struktur kristal dan parameter kisi melalui perhitungan dengan metode analitik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, telah dilakukan persiapan tujuh sampel paduan bahan semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif menggunakan metode Bridgman. Sebelum memulai tahap penumbuhan kristal, dilakukan penimbangan bahan dasar dengan menggunakan perbandingan molar yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, variasi dilakukan pada besarnya massa bahan dengan menggunakan massa Pb sebagai acuan dalam perbandingan massa untuk setiap penimbangan sampel. Perhitungan massa bahan S dan Se dilakukan dengan menggunakan perbandingan sebagai berikut :

$$S = \left[\frac{\text{massa Pb}}{(BA)Pb} \times (BA)S \right] \times \frac{\text{fraksi S}}{\text{fraksi Pb}} \quad \text{Sehingga didapatkan :}$$

Tabel 1. Perbandingan molaritas massa semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$

Sampel	Perbandingan Molaritas			Perbandingan Massa (gram)		
	Pb	S	Se	Pb	S	Se
PbSe	1	1	0	6	0,93	0
Pb(S _{0,2} Se _{0,8})	1	0,2	0,8	6	0,2	1,8
Pb(S _{0,4} Se _{0,6})	1	0,4	0,6	6	0,37	1,42
Pb(S _{0,5} Se _{0,5})	1	0,5	0,5	6	0,46	1,14
Pb(S _{0,6} Se _{0,4})	1	0,6	0,4	6	0,6	0,9
Pb(S _{0,8} Se _{0,2})	1	0,8	0,2	6	0,74	0,46
PbS	1	0	1	6	0	2,28

Dalam proses ini, variasi massa bahan dasar digunakan untuk mengidentifikasi apakah perbedaan massa memiliki pengaruh pada struktur kristal dan parameter kisi masif yang terbentuk. Variasi pada bahan semikonduktor masif $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dilakukan dengan mengatur perbandingan molaritas pada massa atom *Selenium* (Se) untuk mengetahui pengaruh terhadap struktur kristal dan parameter kisi pada masing-masing sampel yang terbentuk. *Lead* (Pb) digunakan sebagai massa acuan perbandingan untuk menentukan massa bahan dasar lain

seperti S dan Se. Sehingga, variasi massa yang digunakan pada penelitian ini antara lain, PbSe, $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$, $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$, $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$, $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$, $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ dan PbS .

Setelah penimbangan, masing-masing sampel dimasukkan ke dalam tabung *pyrex* dan kemudian divakum untuk mengeluarkan bahan lain yang ada dalam tabung dengan tekanan mencapai 10^{-5} torr. Setelah proses vakum selesai, tabung *pyrex* dilas pada salah satu ujungnya hingga membentuk sebuah kapsul. Kapsul berisi bahan dasar yang sudah divakum kemudian siap untuk dipanaskan.

Penumbuhan kristal dimulai dengan menimbang bahan Pb, S, dan Se dengan perbandingan yang telah ditentukan sesuai dengan perhitungan perbandingan molaritas. Setelah proses penimbangan selesai, langkah selanjutnya adalah proses pemvakuman dengan tujuan utama yaitu meningkatkan kemurnian material dan mencegah oksidasi. Tahap pemvakuman berfungsi untuk menghilangkan gas-gas dan partikel yang terkontaminasi. Selain itu, proses pemvakuman juga mencegah bahan semikonduktor bereaksi dengan oksigen udara dan membentuk lapisan oksida di permukaan. Hal tersebut sangat penting untuk memastikan kualitas dan konsistensi kinerja perangkat semikonduktor. Sehingga, melalui proses pemvakuman ini dapat menghasilkan kemurnian bahan semikonduktor tingkat tinggi.

Proses pemvakuman dilakukan hingga mencapai tekanan 10^{-5} torr. Tekanan yang rendah akan menciptakan lingkungan vakum yang memadai untuk persiapan material semikonduktor. Pada tekanan tersebut jumlah molekul gas dalam ruang menjadi sangat sedikit, sehingga meminimalkan kemungkinan reaksi kimia dan kontaminasi selama proses pemvakuman. Hal ini bertujuan untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi proses dan kualitas material yang dihasilkan. Karena jika tekanan terlalu tinggi, kemungkinan kontaminasi menjadi lebih besar dan memungkinkan untuk mempengaruhi kualitas bahan semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ sebelum penumbuhan kristal dalam *furnace*.

Setelah persiapan sampel dan pemvakuman selesai, langkah selanjutnya adalah proses penumbuhan kristal menggunakan metode Bridgman. Proses ini melibatkan pemanasan sampel dari suhu awal ruangan sebesar $27^{\circ}C$ hingga mencapai suhu tertentu, dalam hal ini $300^{\circ}C$. Pada suhu $300^{\circ}C$, sampel ditahan selama 2 jam untuk mencapai suhu yang seragam dan stabil sebelum pemanasan selanjutnya. Kemudian, suhu dinaikkan menjadi $600^{\circ}C$ dan ditahan selama 4 jam. Pemanasan pada suhu $600^{\circ}C$ ini penting karena pada suhu tersebut terjadi proses kristalisasi yang menjadikan pertumbuhan kristal teratur dan homogen dalam semua sampel. Setelah 4 jam, suhu dikembalikan pada suhu awal ruangan untuk menyelesaikan proses pemanasan.

Setelah proses penumbuhan selesai, dapat dilihat bahwa kristal yang terbentuk dari preparasi ini berbentuk masif dan berwarna abu-abu kehitaman. Sampel-sampel tersebut dikeluarkan dari *furnace* dalam keadaan suhu yang rendah untuk selanjutnya diproses lebih lanjut melalui tahap karakterisasi. Material semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif yang telah di preparasi menggunakan metode Bridgman kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Pengujian XRD digunakan untuk memahami informasi mengenai struktur kristal dan parameter kisi melalui perhitungan dengan metode analitik.

Hukum Bragg:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

Kristal $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ mempunyai struktur kubik, jarak antar bidang struktur kubik dihitung dengan persamaan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan hukum Bragg, maka diperoleh persamaan :

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

Maka,

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2)$$

Jika $\frac{\lambda^2}{4a^2} = A$, maka persamaan menjadi

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2)$$

$$\frac{\sin^2 \theta}{h^2 + k^2 + l^2} = A \Rightarrow \text{tetap}$$

Untuk nilai A yang tetap diperoleh

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

h , k , dan l adalah bilangan cacah, maka untuk struktur kristal kubik pusat muka (*fcc*) diperoleh

$$: A = \left(\frac{\sin^2 \theta}{3}, \frac{\sin^2 \theta}{4}, \frac{\sin^2 \theta}{8}, \frac{\sin^2 \theta}{11}, \frac{\sin^2 \theta}{12}, \dots \right)$$

Hasil

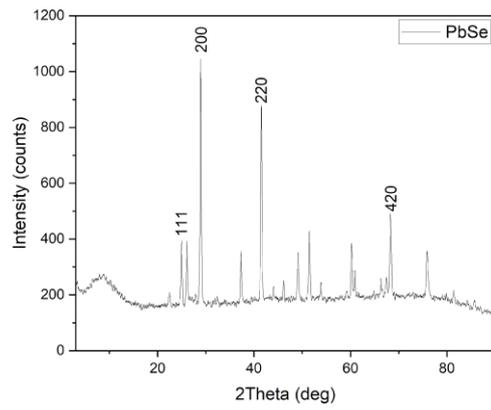
Proses preparasi menggunakan teknik Bridgman memungkinkan penumbuhan kristal dengan mengendalikan suhu dan kecepatan pendinginan secara cermat. Proses pemanasan yang bertahap dan penahanan pada suhu tertentu meminimalkan risiko retak atau celah pada kristal yang baru terbentuk. Selain itu, penggunaan alur pemanasan yang sama pada semua sampel memastikan kondisi yang sama dan menempatkan pada perbandingan yang tepat antara sampel dengan massa yang berbeda. Kondisi bahan semikonduktor masif ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan semikonduktor masif $Pb(S_{1-x}, Se_x)$

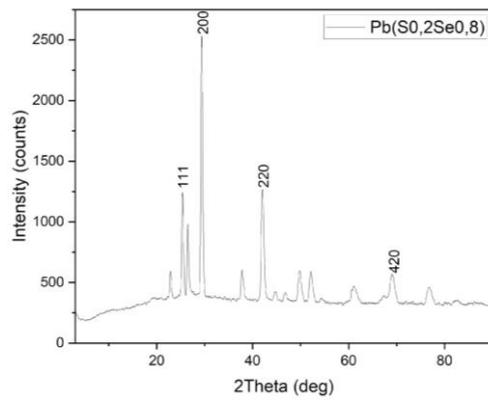
Sampel	Foto Sampel	Sampel	Foto Sampel
PbSe		$Pb(S_{0,6} Se_{0,4})$	
$Pb(S_{0,2} Se_{0,8})$		$Pb(S_{0,8} Se_{0,2})$	
$Pb(S_{0,4} Se_{0,6})$		PbS	
$Pb(S_{0,5} Se_{0,5})$			

Ketujuh sampel yang telah dihasilkan kemudian dikarakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*.

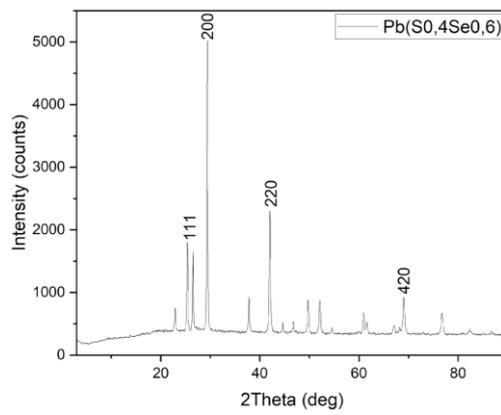
Analisis *X-Ray Diffraction (XRD)* dilakukan untuk mengetahui struktur kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif hasil preparasi menggunakan teknik Bridgman. Data yang dihasilkan dihasilkan XRD berupa *difaktogram*, yaitu grafik hubungan antara intensitas cahaya yang dipancarkan oleh kristal sebagai puncak spektrum (I) dan sudut difraksi/hamburan (2θ). Difaktogram hasil XRD kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ untuk sampel PbSe, $Pb(S_{0,2} Se_{0,8})$, $Pb(S_{0,4} Se_{0,6})$, $Pb(S_{0,5} Se_{0,5})$, $Pb(S_{0,6} Se_{0,4})$, $Pb(S_{0,8} Se_{0,2})$ dan PbS berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 1. hingga Gambar 7.



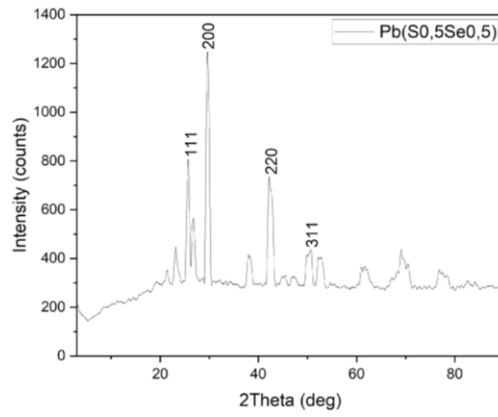
Gambar 1 Difaktogram PbSe masif



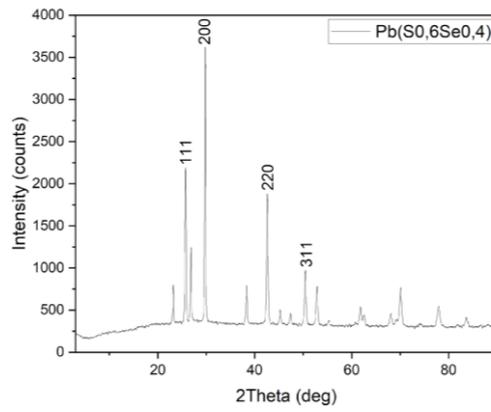
Gambar 2 Difaktogram $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$ masif



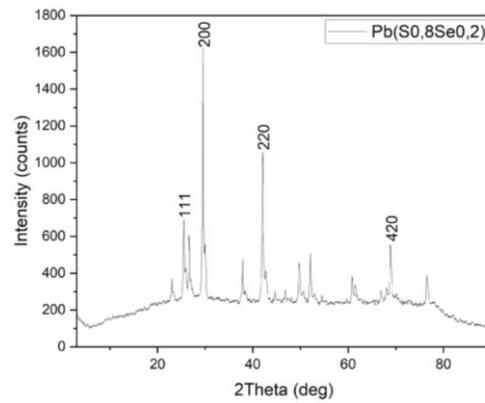
Gambar 3 Difaktogram $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$ masif



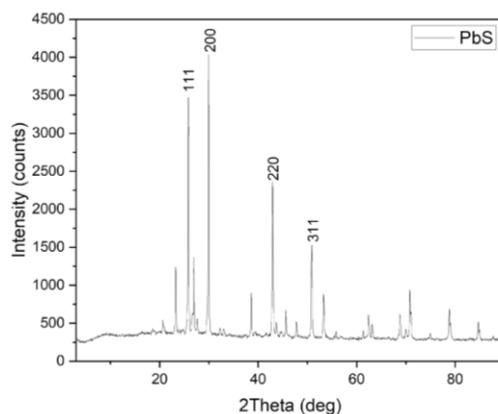
Gambar 4 Difaktogram $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$ masif



Gambar 5 Difaktogram $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$ masif



Gambar 6 Difaktogram $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ masif



Gambar 7 Difraktogram PbS masif

Difraktogram dari hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya puncak-puncak yang dominan pada ketujuh sampel yang telah diuji. Berdasarkan puncak-puncak tersebut, dilakukan pencocokan data karakterisasi XRD dengan data standar yang berasal dari database JCPDS (*Join Committee on Powder Diffraction Standard*). Hasil pencocokan ini mengungkapkan bahwa ketujuh sampel sesuai dengan data JCPDS nomor 01-077-0245 dan 00-005-0592 dalam kelompok ruang FM-3M, menunjukkan bahwa bahan-bahan tersebut berbentuk kristal kubik setelah mengalami proses kristalisasi. Perbandingan hasil XRD dengan data JCPDS ini selengkapnya dapat ditemukan pada tabel 3 sampai 9.

Tabel 3. Perbandingan data PbSe dengan JCPDS

No	PbSe		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,76	4	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	28,9363	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
3	41,4856	84	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
4	51,4587	31	51,627	21	2 2 2	50,978	35	3 1 1
5	68,2777	42	68,41	22	4 2 0	68,883	10	3 3 1

Tabel 4. Perbandingan data Pb(S_{0,2}Se_{0,8}) dengan JCPDS

No	Pb(S _{0,2} Se _{0,8})		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,3804	40	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	26,4681	28	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
3	29,3692	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
4	42,0386	43	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
5	68,74	9	68,41	22	4 2 0	68,883	10	3 3 1

Tabel 5. Perbandingan data Pb(S_{0,4}Se_{0,6}) dengan JCPDS

No	Pb(S _{0,4} Se _{0,6})		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,3819	29	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	26,4873	27	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
3	29,3862	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
4	37,7971	13	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
5	42,024	43	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0

Tabel 6. Perbandingan data Pb(S_{0,5}Se_{0,5}) dengan JCPDS

No	Pb(S _{0,5} Se _{0,5})		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,6625	54	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	26,7535	28	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
3	29,6584	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
4	42,4288	49	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
5	50,64	16	49,279	15	3 1 1	50,978	35	3 1 1

Tabel 7. Perbandingan data Pb(S_{0,6}Se_{0,4}) dengan JCPDS

No	Pb(S _{0,6} Se _{0,4})		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,7134	55	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	26,832	27	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
3	29,7726	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
4	42,5892	48	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
5	52,804	14	51,627	21	2 2 2	53,413	16	2 2 2

Tabel 8. Perbandingan data Pb(S_{0,8} Se_{0,2}) dengan JCPDS

No	Pb(S _{0,8} Se _{0,2})		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	25,5081	31	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	29,493	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
3	42,0556	62	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
4	52,0579	22	51,627	21	2 2 2	53,413	16	2 2 2
5	68,868	27	68,41	22	4 2 0	68,883	10	3 3 1

Tabel 9. Perbandingan data PbS dengan JCPDS

No	PbS		JCPDS PbSe			JCPDS PbS		
	2Theta (deg)	I(%)	2Theta (deg)	I(%)	hkl	2Theta (deg)	I(%)	hkl
1	23,2525	22	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
2	25,8201	79	25,151	36	1 1 1	25,964	84	1 1 1
3	29,9327	100	29,121	100	2 0 0	30,075	100	2 0 0
4	42,9262	61	41,653	66	2 2 0	43,059	57	2 2 0
5	50,8581	38	49,279	15	3 1 1	50,978	35	3 1 1

Dari hasil perbandingan ketujuh sampel dengan JCPDS maka parameter kisi kristal (a , b , dan c) dapat diketahui dengan menggunakan metode analitik pada lampiran 1. Karena kristal masif penumbuhan dengan teknik bridgman yang dihasilkan berbentuk kubik, maka nilai parameter kisi a , b , dan c bernilai sama. Nilai parameter kisi pada sampel Pb(S_{1-x}, Se_x) ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel 12. Hasil Analitik Parameter kisi Pb(S_{1-x}, Se_x)

Sampel	Parameter Kisi (Å)
PbSe	6,1399
Pb(S _{0,2} Se _{0,8})	6,0748
Pb(S _{0,4} Se _{0,6})	6,0741
Pb(S _{0,5} Se _{0,5})	6,0224
Pb(S _{0,6} Se _{0,4})	5,9926
Pb(S _{0,8} Se _{0,2})	5,9909
PbS	5,9685

Pembahasan

Penggunaan *X-Ray Diffraction* (XRD) dalam analisis bahan semikonduktor memanfaatkan sifat difraksi sinar-X oleh kristal untuk menghasilkan pola difraksi yang mencerminkan komposisi dan tata letak kristal dalam sampel. Dalam penelitian ini, dilakukan uji XRD pada material semikonduktor Pb(S_{1-x}, Se_x) masif hasil preparasi dengan teknik

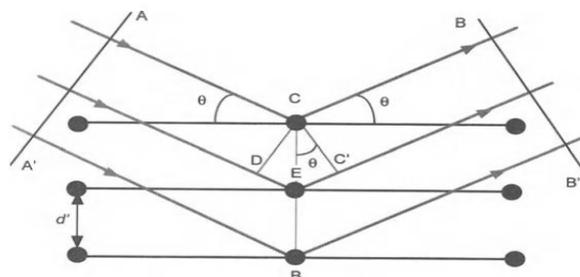
Bridgman untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang struktur kristal dan parameter kisi dari material tersebut.

Untuk mengetahui pengaruh massa terhadap struktur kristal dan parameter kisi bahan semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ maka dilakukan analisis mengenai difaktogram yang dihasilkan dari uji *X-Ray Diffraction* (XRD). Difaktogram tersebut menunjukkan ketinggian puncak intensitas dari ketujuh sampel yang telah di uji. Prinsip kerja uji XRD didasarkan pada difraksi sinar-X yang dihasilkan dari kisi kristal. Atom-atom dalam kisi kristal mengakibatkan sumber memancarkan hamburan sinar-X. Pada saat sinar-X terdifraksi, maka terbentuk pola difraksi dalam bentuk puncak-puncak difraksi pada posisi dan sudut tertentu.

Hasil karakterisasi XRD yang berupa difaktogram dicocokkan dengan data standar pada database JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) untuk mengetahui nilai *hkl* dari setiap puncak difraksi yang terbentuk. Proses pencocokan ini memungkinkan penentuan fase kristal yang ada dalam sampel berdasarkan kesesuaian puncak-puncak difraksi yang dihasilkan dengan data pada database JCPDS. Hasil pencocokan menunjukkan bahwa kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dengan variasi fraksi X atom *selenium* (Se) memiliki puncak difraksi yang sama dengan kristal $Pb(S_{1-x}, Se_x)$. Hasil ini mengindikasikan adanya kecenderungan kesamaan struktur kristal antara $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dan PbSe dengan fraksi X tertentu.

Difraksi Sinar-X (XRD) sangat dipengaruhi oleh Hukum Bragg dan faktor struktur kristal. Dalam XRD, sinar-X dipancarkan ke sampel kristal, dan sinar-X yang terdifraksi oleh kristal tersebut diukur untuk mendapatkan pola difraksi. Berikut adalah bagaimana Hukum Bragg dan faktor struktur kristal mempengaruhi proses XRD.

Hukum Bragg yang dirumuskan oleh W.L. Bragg pada tahun 1913, menjelaskan hubungan antara panjang gelombang sinar-X, jarak antar bidang atom dalam kristal, dan sudut difraksi. Menurut Hukum Bragg, ketika sinar-X mengenai kristal, akan terjadi interferensi konstruktif antara gelombang yang dipantulkan oleh bidang atom yang berdekatan.



Gambar 8. Hukum Bragg (Suryanarayana & Norton, 1998)

Interferensi konstruktif ini terjadi hanya pada sudut tertentu yang memenuhi persamaan Bragg, yaitu:

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

di mana d adalah jarak antar bidang atom, θ adalah sudut difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X, dan n adalah urutan refleksi. Oleh karena itu, Hukum Bragg memiliki peran penting dalam menginterpretasikan pola difraksi XRD dan menentukan parameter struktur kristal, seperti jarak antar bidang atom (Cullity, 1978).

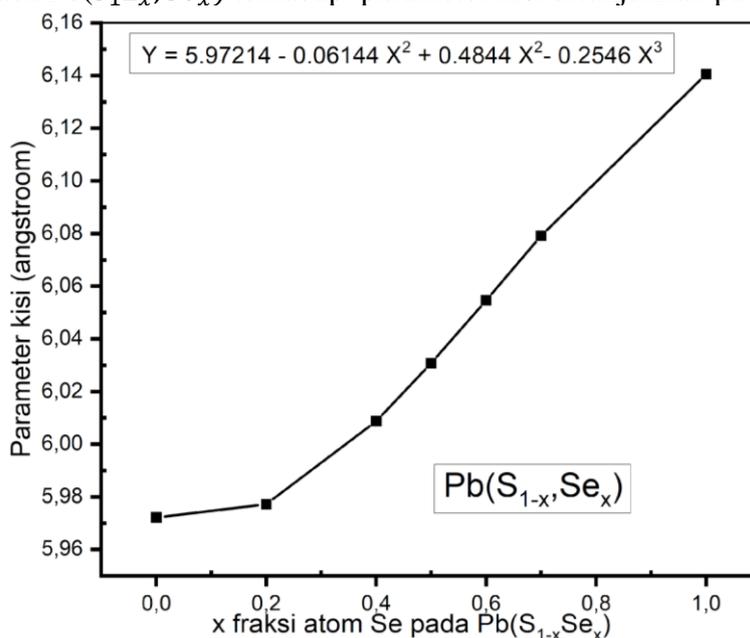
Setelah mengetahui bahwa kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ memiliki kecenderungan kesamaan struktur dengan kristal PbSe, penelitian ini melanjutkan analisis struktur kristal lebih lanjut. Dilakukan perhitungan parameter kisi kristal hasil preparasi dengan menggunakan metode analitik. Perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan difraktogram puncak-puncak difraksi hasil analisis XRD dan data pada database JCPDS sebagai acuan. Dari hasil perhitungan analitik, diperoleh nilai parameter kisi kristal dari bahan $Pb(S, Se)$ dengan variasi fraksi X atom *selenium* (Se). Hasil tersebut tercantum dalam Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan parameter kisi $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dengan JCPDS

Sampel	Parameter Kisi (Å)	JCPDS PbSe (Å)	JCPDS PbS (Å)
PbSe	6,1399	6,128	5,9362
Pb(S _{0,2} Se _{0,8})	6,0748	6,128	5,9362
Pb(S _{0,4} Se _{0,6})	6,0741	6,128	5,9362
Pb(S _{0,5} Se _{0,5})	6,0224	6,128	5,9362
Pb(S _{0,6} Se _{0,4})	5,9926	6,128	5,9362
Pb(S _{0,8} Se _{0,2})	6,0554	6,128	5,9362
PbS	5,9685	6,128	5,9362
Structure	Cubic	Cubic	Cubic

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa parameter kisi yang dihasilkan dari perhitungan analitik dari ketujuh sampel dan JCPDS nilainya tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa variasi massa tidak terlalu mempengaruhi parameter kisi kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif hasil preparasi dengan teknik Bridgman.

Dalam analisis regresi linear terhadap pengaruh fraksi atom selenium (X) terhadap nilai parameter kisi $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ atau (Y), dilakukan pengujian pada nilai-nilai fraksi atom selenium tertentu untuk memahami dampaknya terhadap parameter kisi. Ketika fraksi atom *selenium* (X) mengambil nilai 0, diperoleh nilai parameter kisi (Y) sebesar 5.97214 yang menjadi *intercept* pada model regresi. Selanjutnya, peningkatan fraksi (X) menjadi 0,2; 0,4; 0,5; dan 0,6 menunjukkan perubahan parameter kisi (Y) yang tergantung pada pola kuadratik dan kubik yang diatur oleh koefisien X² dan X³ dalam model regresi. Selain itu, ketika fraksi (X) mencapai 0.8, dampaknya pada nilai parameter kisi (Y) juga dapat diamati. Akhirnya, ketika fraksi atom *selenium* mencapai nilai maksimal yaitu 1, parameter kisi (Y) mengambil nilai tertentu sesuai dengan prediksi model regresi. Dengan demikian, melalui analisis nilai fraksi atom selenium dari 0 hingga 1, dapat dipahami bagaimana hubungan antara X dan Y berubah sesuai dengan pola regresi yang telah dijelaskan. Sehingga hubungan antara x fraksi atom *selenium* pada $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ terhadap parameter kisi ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 Grafik hubungan fraksi (X) atom *selenium* pada $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ terhadap nilai parameter kisi hasil perhitungan analitik.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan variasi fraksi x atom *selenium* (Se) pada struktur kristal semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif hasil preparasi dengan teknik Bridgman memiliki struktur kristal kubik. Variasi fraksi x atom *selenium* (Se) terbukti tidak berpengaruh terhadap struktur kristal dari bahan semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$. Hal ini menunjukkan stabilitas struktur kristal $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ dalam berbagai variasi fraksi x yang diteliti.

Hasil perhitungan analitik parameter kisi kristal dengan variasi fraksi x atom *selenium* (Se) pada semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif dengan preparasi menggunakan teknik Bridgman yaitu, PbSe sebesar $a = b = c = 6,1399 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,2}Se_{0,8})$ sebesar $a = b = c = 6,0748 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,4}Se_{0,6})$ sebesar $a = b = c = 6,0741 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,5}Se_{0,5})$ sebesar $a = b = c = 6,0224 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,6}Se_{0,4})$ sebesar $a = b = c = 5,9926 \text{ \AA}$, $Pb(S_{0,8}Se_{0,2})$ sebesar $a = b = c = 5,9909 \text{ \AA}$, dan PbS sebesar $a = b = c = 5,9685 \text{ \AA}$. Hal ini menunjukkan bahwa variasi fraksi x atom *selenium* (Se) memenuhi persamaan $a = b = c = 5.97214 - 0.06144 x + 0,4844x^2 - 0,2546 X^3$.

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk mengetahui informasi yang lebih banyak mengenai semikonduktor $Pb(S_{1-x}, Se_x)$ masif hasil preparasi menggunakan teknik Bridgman, misalnya karakterisasi (SEM) *Scanning Electron Microscopy* untuk menghasilkan pengamatan struktur permukaan kristal, (EDAX) *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* untuk menganalisis komposisi elemen, dan (UV-Vis) *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* untuk menganalisis bandgap paduan $Pb(S_{1-x}, Se_x)$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ariswan, M.Si. D.E.A., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, dukungan, dan selalu memberikan arahan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cullity, B. D. (1978). *Elemen of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Rio, S. R., & Iida, M. (1982). *Fisika dan teknologi Semikonduktor*. Jakarta: P.T. Dainippon Gitakarya Printing.
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1998). *X - Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Publishing Corporation .