

BRIDGMAN Kelebihan Dan Kekurangannya Sebagai Teknik Penumbuhan Kristal

Edi Istiyono

Juridik Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

Abstrak

Kajian ini tentang teknik Bridgman kelebihan dan kekurangannya sebagai teknik penumbuhan kristal. Permasalahan yang muncul pada kajian ini adalah langkah-langkah pokok, kelebihan, dan kekurangan Teknik Bridgman.

Berdasarkan kajian ini teknik Bridgman memiliki kelebihan, yakni: peralatan cukup sederhana, langkah kerja juga cukup sederhana, dan kualitas kristal yang dihasilkan cukup bagus karena perbandingan mol hampir sesuai teori dan parameter kisi kristal juga sesuai dengan nilai dalam *Join Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)*. Kelemahan teknik Bridgman antara lain: memerlukan ketelitian dalam menentukan perbandingan massa bahan dasar kristal, memerlukan kevakuman yang cukup tinggi dalam kapsul pyrex atau kuarsa, dan memerlukan ketelitian yang tinggi saat pengelasan kapsul pyrex atau kuarsa.

Kata kunci: teknik Bridgman, penumbuhan kristal, kelebihan, dan kekurangan

PENDAHULUAN

Latar belakang Masalah

Energi adalah suatu besaran yang sangat penting dalam kehidupan, bagaimana tidak karena segala aktivitas manusia berhubungan dengan energi. Oleh karena itu masalah energi selalu menjadi topik yang hangat untuk dibahas. Pada dasarnya energi yang ada di alam dapat dikelompokkan menjadi dua, yakni: energi konvensional dan energi terbarukan. Energi konvensional antara lain tersimpan dalam bahan bakar minyak, gas, dan batu bara. Kelemahan energi jenis ini adalah semakin berkurang dan mengakibatkan polusi. Energi terbarukan terdapat dalam antara lain: cahaya matahari, angin, panas bumi, dan gelombang air laut.

Salah satu jenis energi terbarukan adalah energi matahari yang biasa disebut energi surya. Agar dapat digunakan dengan mudah, maka energi dalam cahaya matahari diubah menjadi energi listrik. Fenomena berubahnya energi surya menjadi energi listrik dikenal dengan istilah efek fotovoltaik. Piranti untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik disebut sel surya.

Indonesia yang termasuk negara tropis yang memiliki cukup sinar matahari sepanjang tahun, maka sel surya memiliki prospek yang baik dalam menyediakan listrik. Mengingat suplai energi matahari yang diterima permukaan bumi sekitar 69% dari total energi radiasi matahari sebesar 3×10^{24} joule. Energi ini setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia (Brian Yulianto, 2006). Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memiliki banyak keunggulan antara lain: hampir tidak ada biaya operasi, tidak menimbulkan polusi, otomatis, dan energinya tersedia sepanjang tahun (Maksum Noor, 2005)

Sel surya dibuat dari berbagai bahan semikonduktor, antara lain: CdS, GaAs, Cu(Ga,In)Se, CuInSe₂, dan CuInS₂. Prinsip sel surya tidak lain merupakan sambungan p-n. Untuk membuat sambungan p-n dapat dilakukan dengan membuat lapisan tipis tipe n yang ditumpangkan lapisan tipis tipe p. Ada beberapa metode pembuatan lapisan tipis, antara lain: evaporasi dan *sputtering*. Untuk menghasilkan lapisan tipis yang baik, maka sudah pasti memerlukan sumber (target) yang baik. Salah satu target yang cukup baik adalah kristal.

Penumbuhan kristal dapat dilakukan dengan berbagai teknik, antara lain: Czachralski, *Vapour Phase Epitaxy (VPE)*, *Liquid Phase Epitaxy (LPE)*, *Molecular Beam Epitaxy (MBE)*, dan Bridgman. Pada bahasan berikut akan difokuskan pada teknik penumbuhan kristal dengan teknik Bridgman. Hal ini karena teknik ini memiliki cukup banyak kelebihan daripada teknik yang lain.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dikaji keunggulan teknik Bridgman dalam menumbuhkan kristal. Untuk mengetahui keunggulan teknik ini dapat dikaji tentang langkah-langkah, kelebihan dan kekurangannya.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah pada bahasan ini adalah:

1. Apakah langkah-langkah pokok teknik Bridgman?
2. Apakah kelebihan teknik Bridgman?
3. Apakah kekurangan teknik Bridgman?

Tinjauan Pustaka

Pengertian Teknik Bridgman

Teknik Bridgman merupakan suatu teknik penumbuhan kristal tunggal. Teknik ini pada prinsipnya adalah melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung pyrex atau kuarsa berbentuk kapsul yang divakumkan. (Anonim, 2007). Pemurnian bahan ini sangat penting dalam penumbuhan kristal, karena penambahan sedikit ketidakmurnian akan mempengaruhi pembawa muatan yang selanjutnya akan memiliki pengaruh besar pada karakteristik kristal yang terbentuk. Sebaliknya, jika semakin sempurna suatu kristal berarti kerusakan kristal yang terjadi semakin sedikit.

Bahan-bahan yang telah dimasukkan dalam tabung pyrex atau kuarsa dilelehkan dalam *furnace* atau oven yang temperaturnya sangat tinggi, secara perlahan-lahan kemudian dimasukkan ke dalam daerah suhu rendah sampai bahan mengeras dan selanjutnya terbentuk kristal yang diinginkan. Berdasarkan peletakkan kapsul tabung dalam *furnace*, teknik Bridgman ada dua macam, yakni: teknik Bridgman vertikal dan horizontal. Kristal yang terbentuk dengan teknik ini berupa ingot atau masif.

Pada temperatur yang terlalu tinggi kristal tumbuh dengan cepat tetapi mempunyai cacat yang luas, tetapi pada temperatur yang terlalu rendah juga tidak cocok karena proses penumbuhannya sangat lambat. Alur pemanasan dalam teknik ini didasarkan pada diagram fasa kristal campuran yang diinginkan. Pemilihan tinggi rendahnya temperatur didasarkan pada titik leleh bahan dasarnya. Dengan demikian, pemilihan alur pemanasan dalam teknik Bridgman ini didasarkan pada titik leleh bahan dasarnya dan diagram fasa kristal yang diinginkan.

Alat-alat Utama dalam Teknik Bridgman

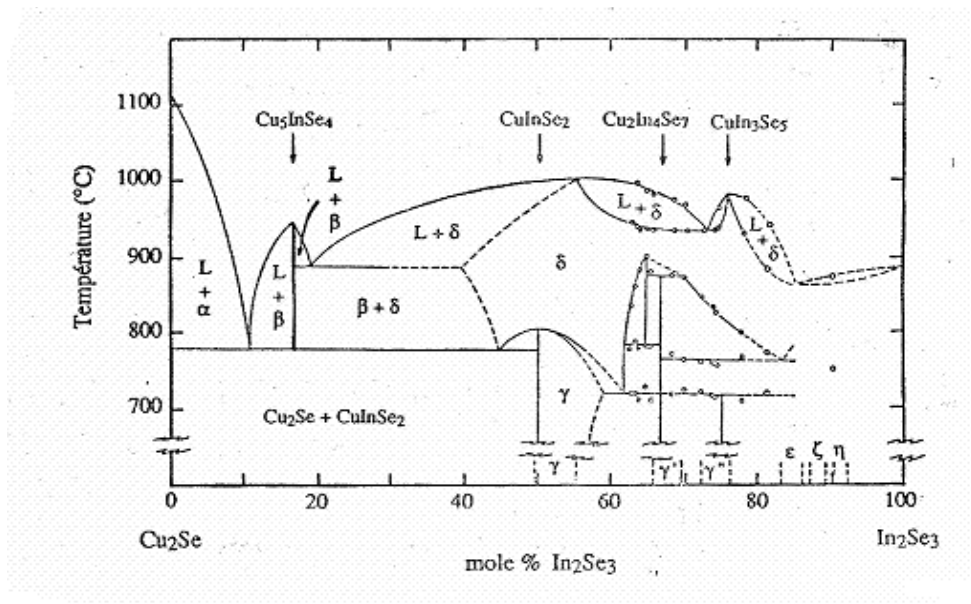
Ada beberapa alat yang digunakan dalam teknik Bridgman ini, namun yang pokok adalah: neraca, las kaca, sistem vakum dan *furnace* (oven). Di samping alat pokok ini tentu ada beberapa alat penunjang agar diperoleh hasil yang baik.

Langkah-langkah Teknik Bridgman

Langkah-langkah teknik Bridgman yang utama terdiri atas dua tahap, yakni: tahap persiapan preparasi dan tahap penumbuhan kristal. Tahap pertama adalah persiapan yang meliputi: penimbangan bahan dasar, pengepresan (fakultatif), pembersihan tabung pyrex atau kuarsa, pemvakuman, dan pengelasan. Tahap kedua adalah penumbuhan kristal yang meliputi: pemasangan kapsul dalam *furnace*, perlakuan panas dengan alur pemanasan tertentu, dan pengambilan hasil setelah dingin.

Diagram Fasa

Diagram fasa menunjukkan hubungan daya larut unsur-unsur atau senyawa yang dipadukan, sehingga pada diagram ini akan dapat dibaca sejumlah dan komposisi cairan dari kristal yang terdapat pada setiap temperatur dan susunan campuran serta dapat diketahui suhu-suhu kritis suatu bahan. Perlakuan panas dalam teknik Bridgman yang selanjutnya disebut alur pemanasan tidak hanya dibuat sembarangan, namun harus berdasarkan pada diagram fasa kristal yang diinginkan dan juga titik leleh bahan dasarnya. Gambar 1 menyatakan contoh diagram fasa untuk kristal CuInSe_2 .



Gambar 1. Diagram fasa CuInSe_2

PEMBAHASAN

1. Kelebihan Teknik Bridgman

Kelebihan teknik Bridgman ditinjau dari: alat yang digunakan, langkah kerja, dan kualitas kristal yang terbentuk.

a. Alat yang digunakan cukup sederhana

Ada beberapa alat yang digunakan dalam teknik Bridgman ini, namun yang pokok adalah: neraca, las kaca, sistem vakum dan *furnace* (oven). Berbeda dengan peralatan yang digunakan pada teknik penumbuhan kristal yang lain yakni Czochralski, terdiri atas tiga perangkat: tungku, mekanik penarik kristal, dan pengontrol ruang. Perangkat pertama, tungku yang di dalamnya terdapat: bahan dasar, suseptor grafit, menaik putar (searah jarum jam), elemen pemanas, dan catu daya. Perangkat kedua, mekanik penarik kristal yang di dalamnya terdapat: pemegang benih kristal dan mekanik putar (berlawanan arah jarum jam). Perangkat ketiga, pengontrol ruang yang di dalamnya terdapat: sumber gas (umumnya digunakan gas argon), pengontrol aliran, sistem keluaran (Reka Rio, 1980). Berdasarkan uraian di atas, jelas bahwa peralatan yang digunakan pada teknik Bridgman lebih sederhana.

b. Langkah kerja cukup sederhana

Prosedur atau langkah pada teknik Bridgman yang utama adalah: tahap persiapan preparasi dan tahap penumbuhan kristal. Tahap pertama adalah persiapan yang meliputi: penimbangan bahan dasar, pengepresan (fakultatif), pembersihan tabung kuarsa, pemvakuman, dan pengelasan. Langkah-langkah tahap persiapan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

1) Penimbangan bahan dasar

Untuk mendapatkan kristal yang diharapkan, maka perlu ketepatan perbandingan mol bahan dasarnya. Untuk memperoleh perbandingan mol dapat dilakukan dengan perbandingan massa. Untuk mendapatkan perbandingan massa yang tepat kristal $X_a Y_b Z_c$ digunakan persamaan:

$$m_Y = \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{m_X}{M_X}\right) M_Y \quad (1)$$

$$m_Z = \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{m_X}{M_X}\right) M_Z \quad (2)$$

dengan:

m_X , m_Y , dan m_Z = massa unsur X, Y, dan Z

M_X , M_Y , dan M_Z = massa atom X, Y, dan Z

a, b, c = perbandingan mol senyawa $X_a Y_b Z_c$

2) Pengepresan

Setelah dilakukan penimbangan selanjutnya dilakukan pengepresan. Namun langkah ini tidak harus dilakukan atau bersifat fakultatif, karena tanpa dilakukan pengepresanpun bahan dasar tetap dapat dilelehkan dalam kapsul.

3) Pembersihan tabung pyrex atau kuarsa

Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka tabung perlu dibersihkan. Tabung yang terbuat dari pyrex dapat dicuci dengan *ultrasonic cleaner* selama 30 menit. Tabung dari kuarsa dicuci dengan larutan HF 10% agar kerak-kerak pengotor dapat terlepas dari tabung. Setelah dicuci tabung kemudian dikeringkan dengan dapat dengan *hair dryer*.

4) Pevakuman

Agar kristal yang terbentuk tidak terdapat unsur lain yang tidak diharapkan, maka tabung harus divakumkan. Hal ini dimaksudkan agar gas-gas yang ada dalam tabung dapat dikeluarkan, sehingga tabung benar-benar vakum. Pada tabung pyrex dapat dilakukan vakum sampai 10^{-2} torr, sedangkan pada tabung kuarsa tekanan mencapai 10^{-6} torr.

5) Pengelasan

Langkah terakhir pada tahap persiapan adalah pengelasan atau proses pembuatan kapsul. Setelah tekanan mencapai orde yang dikehendaki, maka tabung dilas, sehingga berbentuk kapsul yang rapat. Tujuan dari pengelasan ini adalah untuk mencegah gas oksigen dan gas lain agar tidak ikut bereaksi selama penumbuhan kristal.

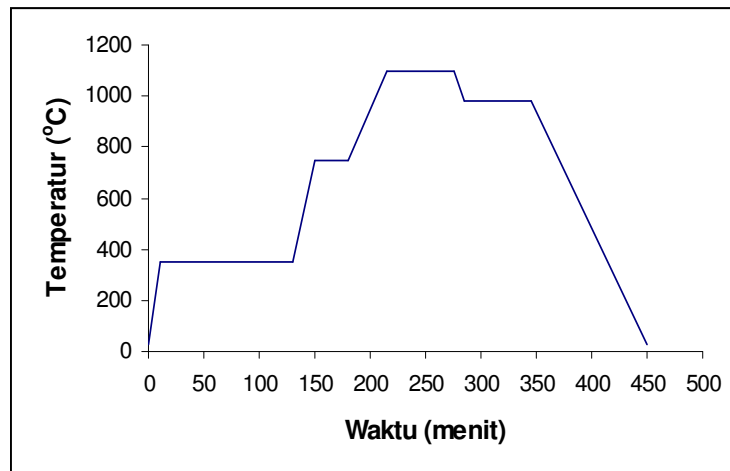
Tahap kedua adalah penumbuhan kristal yang meliputi: pemasukan kapsul dalam furnace, perlakuan panas dengan alur pemanasan tertentu, dan pengambilan hasil setelah dingin.

1) Pemasukan kapsul dalam *furnace*

Pada langkah ini adalah memasukkan kapsul yang telah dilas yang berisi bahan dasar dimasukkan dalam *furnace*. Ada dua macam cara meletakkan kapsul, yakni: secara vertikal atau secara horizontal. Hal ini sesuai dengan E. Wahjuniati dan A. Harsono Soepardjo (2002), bahwa ada dua macam teknik Bridgman, yakni: vertikal dan horizontal.

2) Perlakuan panas dengan alur pemanasan tertentu

Setelah kapsul berada dalam *furnace*, maka furnace diset pada suhu tertentu ditahan dalam waktu tertentu pula mengikuti alur pemanasan yang dirancang. Akhir dari perlakuan panas adalah pendinginan. Untuk merancang alur pemanasan didasarkan pada diagram fasa dan titik leleh bahan dasarnya. Titik leleh untuk Cu, In, S, dan Se berturut-turut adalah 1358 K, 429,8 K, 388,4 K, dan 494 K atau 1085 °C, 156,8 °C, 115,4 °C, 221 °C (Kittel, C, 1996). Berdasarkan titik leleh dan diagram fasa Gambar 1, maka dapat dirancang alur pemanasan untuk CuInSe_2 seperti dinyatakan Gambar 2.



Gambar 2. Alur pemanasan CuInSe_2

3) Pengambilan hasil setelah dingin.

Setelah yakin bahwa kristal hasil teknik ini telah dingin, maka kapsul dikeluarkan dari *furnace* dan ingot dikeluarkan dari kapsul. Dengan ini telah diperoleh hasil penumbuhan kristal berupa ingot atau massif.

Berdasarkan uraian di atas, langkah-langkah teknik Bridgman cukup banyak. Namun, sebenarnya secara garis besar hanya ada tiga langkah utama, yakni: preparasi perbandingan massa unsur dasar, pembuatan kapsul hampa (pengelasan kuarsa), dan perlakuan panas dengan alur pemanasan tertentu. Dengan demikian, teknik Bridgman memiliki langkah-langkah yang cukup sederhana. Hal ini sesuai dengan pendapat bahwa teknik yang paling sering digunakan untuk menumbuhkan kristal adalah teknik Bridgman, karena teknik ini sangat sederhana (E. Wahjuniati dan A. Harsono Soepardjo, 2002). Lebih jauh, teknik Bridgman cukup terkenal dalam menumbuhkan kristal semikonduktor, yang dengan teknik Czochralski lebih sulit (Anonim, 2007).

c. Kristal yang dihasilkan kualitas cukup tinggi

Kualitas kristal yang dimaksud adalah ditinjau dari ketepatan perbandingan mol dan juga parameter kisi kristal yang terbentuk.

1) Perbandingan mol

Dari beberapa senyawa kristal yang dihasilkan dengan teknik Bridgman memiliki perbandingan mol, antara lain: 1:1,1:1,98 untuk CuInSe_2 (Atmita Jiwani, 2007), 0,4:1:2 untuk CuInSe_2 (Enarwati, 2005), 1:0,9:0,34:1,3 untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})_2$ (Kristina Subarkah, 2006), 1:0,8:0,6:0,6 untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})_2$ (Yuan Fajria M, 2007), 1:0,9:0,8:0,1 untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,8}\text{S}_{0,2})_2$ (Deny Yustina, 2007), 0,4:1,8:2 untuk CuInS_2 (Yulia, 2006), serta 1:0,9:1,5 untuk CuInS_2 (Septi Ambarwati, 2006)

Dari data yang dapat dihimpun di atas selanjutnya disajikan dalam Tabel 1 di bawah. Pada Tabel 1 disajikan berbagai senyawa kristal beserta perbandingan molnya antara hasil teknik Bridgman dengan secara toritis. Dari Tabel 1 di bawah nampak bahwa perbandingan mol kristal yang terbentuk tidak benar-benar tepat

bila dicocokkan dengan hasil secara teoritis. Namun demikian perbandingan ini sudah menunjukkan fasa kristal yang diinginkan, sehingga dapat dikatakan hasil preparasi kristal dengan teknik Bridgman ini sudah cukup baik. Hal ini sejalan dari hasil penelitian yang menyatakan bahwa kristal CuInS_2 dan CuInSe_2 dari teknik Bridgman cukup baik ditinjau dari NMR yang terjadi (Stallworth, dkk, 2000)

Tabel 1. Beberapa senyawa kristal beserta perbandingan molnya antara hasil teknik Bridgman dengan secara teoritis

No	Senyawa	Perbandingan mol kristal	
		Teknik Bridgman	Secara Teoritis
1	CuInSe_2	1:1,1:1,98	1:1:2
2	CuInSe_2	0,4:1:2	1:1:2
3	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})_2$	1:0,9:0,34:1,3	1:1:0,4:1,6
4	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})_2$	1:0,8:0,6:0,6	1:1:1:1
5	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,8}\text{S}_{0,2})_2$	1:0,9:0,8:0,1	1:1:1,6:0,4
6	CuInS_2	0,4:1,8:2	1:1:2
7	CuInS_2	1:0,9:1,5	1:1:2

2) Parameter Kisi Kristal

Dari beberapa senyawa kristal yang dihasilkan dengan teknik Bridgman memiliki parameter kisi kristal, antara lain: $a=b=5,7898 \text{ \AA}$ dan $c=11,571 \text{ \AA}$ untuk CuInSe_2 (Atmita Jiwani, 2007), $a=b=5,7857 \text{ \AA}$ dan $c=11,6036 \text{ \AA}$ untuk CuInSe_2 (Enarwati, 2005), $a=b=5,5849 \text{ \AA}$ dan $c=11,1496 \text{ \AA}$ untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})_2$ (Kristina Subarkah, 2006), $a=b=5,6482 \text{ \AA}$ dan $c=11,3576 \text{ \AA}$ untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})_2$ (Yuan Fajria M, 2007), $a=b=5,7479 \text{ \AA}$ dan $c=11,4323 \text{ \AA}$ untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,8}\text{S}_{0,2})_2$ (Deny Yustina, 2007), $a=b=5,5137 \text{ \AA}$ dan $c=11,1575 \text{ \AA}$ untuk CuInS_2 (Yulia, 2006), serta $a=b=5,530 \text{ \AA}$ dan $c=11,1482 \text{ \AA}$ untuk CuInS_2 (Septi Ambarwati, 2006).

Dari data yang dapat dihimpun di atas selanjutnya disajikan dalam Tabel 2 di bawah. Pada Tabel 2 disajikan berbagai senyawa kristal beserta parameter kisi kristal antara hasil teknik Bridgman dengan nilai dalam *Join Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)*. Dari Tabel 2 di bawah nampak bahwa parameter kisi kristal yang terbentuk cukup baik karena mendekati nilai standar. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa dengan teknik Bridgman dapat dihasilkan

kristal CuInSe_2 dengan memiliki parameter kisi yang sesuai dengan standar (Champness, dkk, 2002).

Namun, pada baris ketiga, keempat, dan kelima tidak dapat dicocokkan dengan data JCPDS, karena tidak ditemukan parameter kisi kristal untuk $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})_2$, $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})_2$, dan $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,8}\text{S}_{0,2})_2$. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian bahwa berdasarkan XRD campuran CuInSe_2 dan CuInS_2 menghasilkan kristal yang cukup baik (Jovana Djordjevie, dkk, 2007). Hal ini didukung pula penambahan sodium pada CuInSe_2 menghasilkan suatu kristal yang baik (Fthenakis dan Kim, 2007).

Tabel 2. Beberapa senyawa kristal beserta parameter kisi kristal antara hasil teknik Bridgman dengan nilai JCPDS

No	Senyawa	Parameter kristal (Å)	
		Teknik Bridgman	Tabel JCPDS
1	CuInSe_2	$a=b=5,7898$ $c=11,571$	$a=b=5,7818$ $c=11,6103$
2	CuInSe_2	$a=b=5,7857$ $c=11,6036$	$a=b=5,7818$ $c=11,6103$
3	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})_2$	$a=b=5,5849$ $c=11,1496$	-
4	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})_2$	$a=b=5,6482$ $c=11,3576$	-
5	$\text{CuIn}(\text{Se}_{0,8}\text{S}_{0,2})_2$	$a=b=5,7479$ $c=11,4323$	-
6	CuInS_2	$a=b=5,5137$ $c=11,1575$	$a=b=5,523$ $c=11,141$
7	CuInS_2	$a=b=5,530$ $c=11,1482$	$a=b=5,523$ $c=11,141$

2. Kekurangan Teknik Bridgman

Berdasarkan uraian di depan, kekurangan teknik Bridgman dapat diamati dari langkah-langkahnya, antara lain: ketelitian dalam penentuan perbandingan massa bahan dasar, kevakuman yang cukup tinggi dalam kapsul, dan ketelitian yang tinggi saat pengelasan kapsul. Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Memerlukan ketelitian dalam menentukan perbandingan massa bahan dasar kristal.

Di atas telah disebutkan, untuk mendapatkan kristal yang diinginkan dengan perbandingan mol yang tepat tentu memerlukan perbandingan mol unsur dasar yang tepat pula. Karena massa yang diperlukan cukup kecil, tentu dituntut ketelitian dalam penimbangan. Langkah ini cukup sulit bagi orang yang kurang teliti atau sedikit ceroboh. Oleh karena itu, ini merupakan kekurangan dalam teknik Bridgman.

b. Memerlukan kevakuman yang cukup tinggi dalam kapsul pyrex atau kuarsa.

Yang ikut menentukan kualitas kristal yang terbentuk ada tidaknya fasa lain karena munculnya unsur lain yang tidak diinginkan. Agar kristal yang terbentuk sesuai yang diinginkan tidak muncul fasa lain, dituntut tingkat kevakuman yang tinggi. Untuk membuat tabung yang benar-benar vakum tidaklah mudah, karena itu diupayakan mencapai tingkat kevakuman yang tinggi dalam orde mikro torr. Langkah ini cukup sulit dilakukan, karena itu kevakuman yang cukup tinggi dimasukkan sebagai kelemahan teknik Bridgman.

c. Memerlukan ketelitian yang tinggi saat pengelasan kapsul pyrex atau kuarsa.

Pengelasan merupakan kunci dari pembuatan kapsul, artinya walaupun proses pembuatan kapsul sudah cukup hati-hati, bahkan tingkat kevakuman tinggi namun pengelasan gagal kapsul tidak dapat digunakan. Karena itulah dalam langkah ini dituntut kehati-hatian dan ketelitian yang tinggi. Untuk itu diperlukan keterampilan tersendiri dalam pengelasan ini. Dengan dasar itu, maka ketelitian yang tinggi merupakan salah satu kelemahan teknik Bridgman.

SIMPULAN

1. Langkah-langkah penumbuhan kristal dengan teknik Bridgman adalah:
 - 1) Tahap pertama adalah persiapan yang meliputi: penimbangan bahan dasar, pengepresan (fakultatif), pembersihan tabung pyrex atau kuarsa, pemvakuman, dan pengelasan.
 - 2) Tahap kedua adalah penumbuhan kristal yang meliputi: pemasukan kapsul dalam *furnace*, perlakuan panas dengan alur pemanasan tertentu, dan pengambilan hasil setelah dingin

2. Kelebihan teknik Bridgman adalah:
 - a. Alat cukup sederhana
 - b. Langkah kerja cukup sederhana
 - c. Kualitas kristal yang terbentuk cukup baik ditinjau dari perbandingan mol dan parameter kisi kristal
3. Kelemahan teknik Bridgman adalah:
 - a. Memerlukan ketelitian dalam menentukan perbandingan massa bahan dasar kristal.
 - b. Memerlukan kevakuman yang cukup tinggi dalam kapsul pyrex atau kuarsa
 - c. Memerlukan ketelitian yang tinggi saat pengelasan kapsul pyrex atau kuarsa

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2007. *Bridgman Method*. www.mtixti.com/xtiflyers/bridgman.doc. (diakses 15 Agustus 2007).
- Anonim, 2007. *Crystal Growth*. www.crystalresearch.com/crt/ab42/ab420227.html (diakses 15 Agustus 2007).
- Atmita Jiwani. 2007. *Studi Pengaruh Alur Pemanasan pada Preparasi Bahan Semikonduktor $CuInSe_2$ Massif dengan Teknik Bridgman*. (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY
- Brian Yulianto. 2006. *Teknologi Sel Surya untuk Energi Masa Depan*. www.beritaiptek.com (diakses 15 Agustus 2007)
- Champness, CH dan Shih, I..2002. *Feature of Bridgman-grown $CuInSe_2$* . www.physik.tu-cottbus.de/physik/ap2/veranstaltungen/B_2002.pdf (diakses 16 Agustus 2007)
- Deny Yustina. 2007. *Pengaruh Atom Sulfur dan Alur Pamanasan terhadap Parameter Kisi Kristal dalam Senyawa $CuIn(S_{0,2}Se_{0,8})_2$ yang Dibuat dengan Menggunakan Teknik Bridgman*. (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY
- Enarwati. 2005. *Studi Awal Preparasi Bahan Semikonduktor $CuInSe_2$ dengan Metode Bridgman*. (Skripsi). Yogyakarta: FMIPA UNY

- E. Wahjuniati dan A. Harsono Soepardjo. 2002. *Karakterisasi Polikristal AgInSe₂ yang Ditumbuhkan Menggunakan Tungku Vertikal Temperatur Zona Tunggal dengan Difraksi sinar-X*. Jurnal Himpunan Fisika Indonesia edisi 2002.
- Fthenakis, V.M. dan Kim, H.C.2007. *Effect of Sodium in Bridgman-Grown CuInSe₂*.
www.p12611.typo3server.info/.../pics/01_conference/Conference_Programme/Programme_per_day/Visual_Mon_Tues.pdf (diakses 16 Agustus 2007)
- Jovana Djordjevic, Christian Pietzker dan Roland Scheer. 2007. *In situ XRD study of mixed CuInSe₂-CuInS₂ formation*,
www.geo.web.ru/db/geol_search/cache.html (diakses 16 Agustus 2007)
- Kittel, C. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Kristina Subarkah. 2006. *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Sel Surya CuIn(Se_{0,2}S_{0,8})₂ dengan Teknik Bridgman*. (Skripsi).Yogyakarta: FMIPA UNY
- Maksum Noor. 2005. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Kedaulatan Rakyat. 11 Agustus 2005. halaman 10
- Rio Reka dan Masamori I. 1980. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: Paradnya Paramita
- Septi Ambarwati. 2006. *Pengaruh Parameter Suhu pada Preparasi Bahan Semikonduktor CuInS₂ Massif dengan Metode Bridgman*. (Skripsi).Yogyakarta: FMIPA UNY
- Stallworth P.E., Guillemoles J, Flowers J, Vedel J, dan Greenbaum. 2000. *NMR Studies of CuInS₂ and CuInSe₂ Crystals Grown by the Bridgman Method*.
www.ingentaconnect.com/content/els/00381098/2000/00000113/00000009/art00533 (diakses 16 Agustus 2007)
- Yuan Fajria Megasari 2007. *Studi tentang Pengaruh Alur Pemanasan terhadap Struktur bahan Semikonduktor Sel Surya CuIn(Se_{0,5}S_{0,5})₂ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman*. (Skripsi).Yogyakarta: FMIPA UNY
- Yulia. 2006. *Preparasi Bahan Paduan Semikonduktor Sel Surya CuInS₂ dengan Teknik Bridgman*. (Skripsi).Yogyakarta: FMIPA UNY