BAB 2
www.itk.ac.id
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini, akan dijelaskan mengenai beberapa tinjauan pustaka yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Bab 2 meliputi beberapa aspek bahasan, diantaranya:

2.1 *Soldering*

Solder, yang merupakan proses *reflow* berdasarkan teknologi pemasangan beberapa paket elektronik dan substrat untuk pengemasan tingkat kedua. Ini karena penyolderan dapat digunakan dalam produksi massal dengan biaya rendah (staufer, 2005). Dimana proses penyambungan solder dengan tembaga akan membentuk IMCs pada reaksi kimianya. Paduan timah sering kali digunakan sebagai material pada penyambungan logam, hal ini dikarenakan temperatur liquidusnya yang rendah sehingga dapat membentuk ikatan metalik dengan Cu pada temperatur yang rendah (Kim, 2009).

Penyolderan adalah penyatuan dua atau lebih bahan dasar dengan logam pengisi. Oleh karena itu, seperti halnya dengan pasangan logam yang berbeda, terdapat potensi reaksi yang terjadi pada antarmuka antara dua bahan. Reaksi ini dapat terjadi saat solder meleleh, atau sebagai hasil dari proses solid state pada sambungan yang dipadatkan sepenuhnya. Komposisi produk reaksi dan sejauh mana produk tersebut berkembang tergantung pada pertimbangan termodinamika serta kinetika reaksi (Vianco,2014).

2.2 Reaksi Antar Muka Sn dan Cu

Selama penyolderan reflow, substrat Cu bersentuhan dengan solder yang menghasilkan prediksi IMC yang dihasilkan dari diagram fase biner Sn-Cu. Akibatnya, dua lapisan intermetalik yang merupakan fasa Cu6Sn5 dan Cu3Sn terlihat jelas pada suhu 350 C dalam proses penyolderan sedangkan IMC Cu-Sn lainnya, seperti Cu10Sn3 dan Cu41Sn11, ditemukan pada suhu yang lebih tinggi (Lauria, 2005). IMC dari Cu6Sn5 dan Cu3Sn diperkenalkan oleh reaksi antara

www.itk.ac.id

atom Sn dari solder dan atom Cu dari substrat (Hu,2014) yang dapat dijelaskan dengan Persamaan (1)-(2):

www.itk.ac.id

(1) $6Cu + 5Sn \rightarrow Cu_6Sn_5$

(2) $3Cu + Sn \rightarrow Cu_3Sn$

Difusi spesies atom, Sn dan Cu yang melewati antarmuka menghasilkan pembentukan lapisan Cu6Sn5 pertama diikuti oleh lapisan Cu3Sn yang berdekatan dengan substrat Cu (Flanders,1997). Sedangkan Cu3Sn dapat bereaksi dengan atom Sn membentuk Cu6Sn5 (Yu, 2008). Menurut Persamaan (3), Sn dilepaskan dalam keadaan cair. Namun, dilaporkan bahwa Cu6Sn5, yang merupakan fase yang menguntungkan secara kinetik, tidak stabil dengan Cu, tetapi Cu3Sn, sebagai fase yang stabil secara termodinamika, stabil dengan Cu. Jadi, jika ada Cu bebas dalam sistem, Cu6Sn5 cenderung terurai. Hal ini dapat terjadi dengan dua cara, baik dengan menambahkan Cu atau dengan mengurangkan Sn dari Cu6Sn5. Reaksi kimia yang mengubah Cu6Sn5 menjadi Cu3Sn ditunjukkan pada Persamaan (4)-(5) (Wang Y, 2016).

(3) $2Cu_3Sn + 3Sn \rightarrow Cu_6Sn_5$

(4) $Cu_6Sn_5 + 9Cu \rightarrow 5Cu_3Sn$

(5) $Cu_6Sn_5 \rightarrow 5Cu_3Sn + 3Sn$

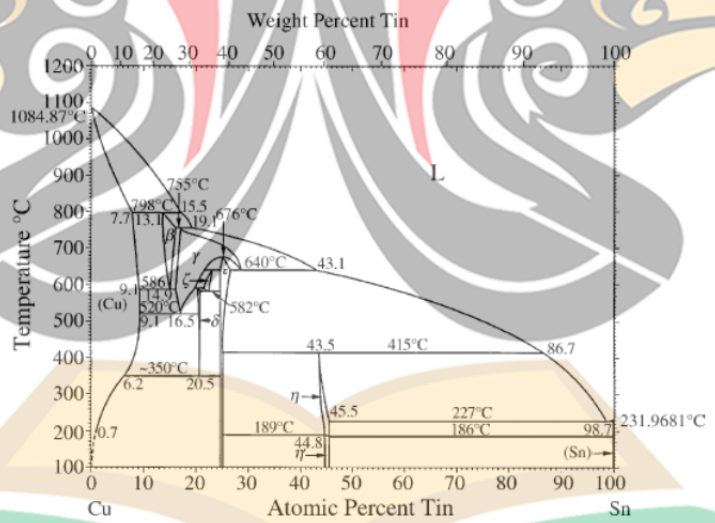
Namun demikian, penambahan Cu dengan Persamaan (4) menghasilkan lapisan Cu3Sn antara lapisan Cu6Sn5 dan substrat Cu dimana atom Cu mengacu pada substrat terlarut. Jadi, Cu6Sn5 terbentuk terlebih dahulu dan Cu3Sn terbentuk kemudian pada antarmuka Cu6Sn5/Cu. Pada aspek penipisan Sn dari Cu6Sn5 pada Persamaan (5), Sn cenderung berdifusi ke sisi Cu membentuk Cu3Sn. Namun, harus ada mengendap untuk Sn atau keberadaan Cu di dekatnya untuk menarik Sn(Mookam, 2018) .

Pada proses sintering, peningkatan temperatur menyebabkan partikel Sn akan secara cepat meleleh karena titik leleh Sn adalah temperatur 231,9ºC sedangkan titik leleh Cu adalah 1083ºC. Atom-atom Cu berdifusi ke dalam cairan Sn membentuk fasa intermetalik (Mishra, 2013). Pada diagram fasa Cu-Sn, ketika Cu tersebar dalam lelehan Sn, kristal Cu6Sn5 mudah. tumbuh. Fasa tersebut (bersama dengan Cu3Sn) adalah fasa yang akan terbentuk (Larsson, 1994). Selama proses sintering, fasa Cu6Sn5 terbentuk lebih banyak dan membentuk struktur lapisan yang menutup laju difusi. Hal ini menyebabkan pembentukan fasa

www.itk.ac.id

Cu3Sn lebih sedikit dibanding fasa Cu6Sn5. Pembentukan dari fasa Cu3Sn dimulai dari perubahan morfologi dari lapisan Cu6Sn5. Pertumbuhan fasa Cu6Sn5 hanya dikontrol oleh jumlah Cu yang dalam komposit Cu-Sn (Meilani, 2016).

Cu6Sn5 memiliki 2 bentuk struktural. Pada temperatur ruang, bentuk stabilnya yaitu η'. Selama proses penyolderan dan penginginan temperatur η yang tinggi akan tetap dalam fasa metastable. Temperatur transformasi ekuilibrium η adalah 186 C, maka dari itu selama penggunaannya, transformasi η' harus terjadi sedangkan apabila temperatur mendekati temperatur ruang, transformasi bisa tidak dapat terjadi sesuai dengan waktu yang ditentukan, hal ini dikarenakan adanya hambatan kinetik, maka waktu yang dibutuhkan akan semakin singkat apabila temperatur yang digunakan semakin tinggi. Hal ini terjadi pula pada formasi lapisan Cu3Sn(ε), namun temperatur yang digunakan tidak sepasti pada fasa η. Hal lain yang mempengaruhi transformasi adalah ketebalan dari IMC yang dapat meningkat seiring penggunaan alat elektronik. Hal ini meningkatkan kemungkinan cacat yang terjadi pada lapisan IMC (Laurila, 2005)



Gambar 2. 1 Diagram Fasa *binary* Cu-Sn

2.3 Paduan Solder Sn-Bi

Dibandingkan dengan sebagian besar logam berat lainnya, toksisitas rendah menandai bismut sebagai semacam elemen 'hijau' bagi lingkungan. Senyawa dan paduan bismut banyak digunakan pada aplikasi komersial yang luas seperti dalam produksi minyak pelumas, bahan kimia, katalis, peluru tembak,

kosmetik, sistem penyiram api, solder, bahan termoelektrik, pigmen, pemberat ikan, pembawa $^{235}U/^{233}U$, obat-obatan, baja lunak, dll(Yang, 2011).

www.itk.ac.id

Paduan solder suhu rendah lebih disukai untuk perakitan komponen dan substrat yang sensitif terhadap suhu. Paduan dalam kategori ini harus mengalirkan kembali antara suhu penyolderan 170 dan 200 C. Suhu penyolderan yang lebih rendah menghasilkan tekanan dan cacat termal yang lebih rendah, seperti melengkung selama perakitan, dan memungkinkan penggunaan substrat dengan biaya lebih rendah. Paduan Sn-Bi memiliki suhu leleh yang lebih rendah, tetapi beberapa kelemahan kinerjanya dapat dilihat sebagai penghambat penggunaannya pada perangkat elektronik. Di sini kami menunjukkan bahwa paduan Sn-Bi non-eutektik dapat digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat ini dan selanjutnya menyelaraskannya dengan kebutuhan khusus industri elektronik. Sifat fisik dan kinerja kejut jatuh dari berbagai paduan dievaluasi, dan hasilnya dianalisis dalam kaitannya dengan komposisi paduan, termasuk kandungan Bi dan penambahan paduan(Ribas, 2017).

Berdasarkan teori kontrol difusi klasik. Bi diendapkan karena kelarutan Bi dalam Cu3Sn lebih rendah daripada di IMC Cu6Sn5, ketika Cu6Sn5 berubah menjadi Cu3Sn selama proses pertumbuhan IMC. Dengan bertambahnya waktu penuaan, semakin banyak Cu3Sn yang terbentuk, semakin banyak Bi yang diendapkan dan bermigrasi ke antarmuka Cu3Sn/Cu di bawah efek Kirkendall, berinti di sana untuk membentuk partikel berukuran nano, karena Bi tidak dapat bereaksi dengan Cu. Kemudian sambungan antara Cu3Sn dan substrat Cu terputus. Oleh karena itu, ketika sejumlah Bi dipisahkan pada antarmuka dalam sambungan, mode patahnya berubah menjadi sangat rapuh.

Bi bertindak sebagai semacam katalis dalam proses reaksi kimia antara Sn dan Cu, meskipun tidak ikut serta dalam reaksi secara langsung. banyak proses, seperti proses aktivasi atom, reaksi tengah meta-stabil, dll. Bi dapat membantu dalam memutuskan ikatan kimia antara atom Cu atau antara Cu dan Sn dalam molekul Cu3Sn untuk membuat lebih banyak dari mereka diaktifkan.

www.itk.ac.id

Adanya Bi pada Cu/Cu3Sn akan mengakibatkan lebih banyak atom yang teraktivasi. Jadi reaksi antarmuka pada antarmuka dipercepat, ketika cukup banyak partikel Bi yang terpisah di sana dan mengakibatkan patah getas pada sambungan. Ini akan menyebabkan adanya gap diantara Cu3Sn/Cu, konsentrasi Cu yang lebih rendah pada antarmuka Cu3Sn/Cu di dekat sisi substrat Cu(Kang, 2011).

Berikut ini adalah data mencantumkan hasil penelitian yang dikeluarkan oleh National Institute of Standards & Technology and Colorado School of Mines tahun 2002 tentang sifat fisik dan sifat thermal pada material solder bebas timbal:

Tabel 2 . 1 Temperatur Titik Lebur Solder Bebas Timbal

Alloy	***Melting Temperature Range (°C)***	***Comment****
Sn-25Ag-10Sb	233 (m.p.)	*High strength; patented by Motorola ("Alloy J")*
Sn-0.7Cu	2276	
Sn-3.5Ag	2216	*Excellent strength and wetting*
Sn-2Ag	221 — 226	
Sn-2.8Ag-20In	175 — 186	
Sn-5Sb*	232 — 240	*Good high-temperature shear strength*
Sn-5813i	1386	*Well established history; Inexpensive*
Sn-9Zn	199*	*Corrosion; high dross*
Sn-0.5Ag-4Cu	217 — 350	*Very wide and high melting range; Engelhard's load-free plumbing solder*
Sn-2Ag-0.75Cu	217 — 219	
Sn-3.2Ag-0.5Cu	217 — 218	
Sn-3.8Ag-0.7Cu	217 — 220	
Sn-4Ag-0.5Cu	217 — 225	
Sn-lAg- ICu	217 — 220	

www.itk.ac.id
www.itk.ac.id

Sn-4.7Ag-1.7Cu	217 — 244	
Sn-8Zn-3Bi	192 — 197	
Sn-0.2Ag-2Cu-0.8Sb	287 — 218	*High melting range; Kester Solder Co.'s Aquabond*
Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb (Castin) Sn-2Ag-7.5Bi	217 — 225	
Sn-3.4Ag-4.8Bi	201 — 205	*(205 — 210)%*
Sn-3.5Ag-3Bi	208 — 217	*(m.p.: 220 °C)%*
Sn-2Ag-3Bi-0.75Cu%	205 — 217	
Sn-3.5Ag-5Bi-0.7Cue4	198 — 213	
Sn-2Ag-4Bi-0.5Cu-0.1Ge%	202 — 217	
Sn-57Bi-0.lAg"°	138 — 140	
Sn-52In	118*	*Lowest melt. • t.: expensive*

Tabel 2 . 2 Sifat cairan pada molten solder Bebas Timbal

Solder Alloy	***Liquidus temperature (°C)***	***Contact angle (deg)***	***Wetting rate (dyne/ sec)***	***Surface tension (dyne/ cm)***
Sn-58Bi	138	43	350	300
Sn-2.8Ag-20In	114 *(low-temp. peak);* 178 *(primary peak)*	44	650	390
Sn-3.5Ag-4.8Bi	212	31	2420	420

www.itk.ac.id
www.itk.ac.id

Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb	217	44	4280	510
Sn-37Pb *(eutectic)*	183	17	2030	380

www.itk.ac.id

2.4 *Intermetallic Coumpound Layer*

Senyawa intermetalik didefinisikan sebagai fase padat yang melibatkan dua atau lebih elemen logam atau semimetalik dengan struktur teratur dan seringkali memiliki stoikiometri yang terdefinisi dengan baik dan tetap. Senyawa intermetalik memiliki titik leleh yang tinggi dan umumnya rapuh pada suhu kamar. Mereka sering menawarkan kompromi antara sifat keramik dan logam ketika kekerasan atau ketahanan terhadap suhu tinggi penting dengan mengorbankan beberapa ketangguhan dan kemampuan proses. Mereka juga dapat menampilkan magnet yang diinginkan, superkonduktor dan sifat kimia tertentu karena ikatan campuran (logam dan kovalen) dan keteraturan internal yang kuat (jiang, 2017).

Reaksi antarmuka antara solder dan Cu diperlukan untuk membentuk IMC untuk membuat ikatan metalurgi yang kuat, ketika komponen di-reflow. Banyak makalah telah menunjukkan bahwa IMC Cu6Sn5 berkembang dan Cu3Sn terbentuk antara Cu6Sn5 dan substrat Cu, ketika interkoneksi diberi perlakuan *Aging* pada suhu homolog yang lebih tinggi. Pertumbuhan IMC yang berlebihan selama servis komponen elektronik dapat merusak sambungan sehingga membuat komponen gagal, karena kerapuhan IMC. Jadi kinetika pertumbuhan IMC sangat penting dalam evaluasi keandalan sambungan solder, dan teknik analisis telah dikembangkan, yang dapat digunakan untuk memprediksi lapisan IMC jangka panjang dari data eksperimen isotermal jangka pendek(Kang,2011).

Selain itu, selama penyolderan dengan substrat Cu, lapisan senyawa intermetalik (IMC) yang terbentuk pada antarmuka solder/Cu diperlukan untuk penyambungan metalurgi. Saat ini, solder Sn-Bi non-eutektik untuk reaksi antarmuka hanya mencakup Sn-5Bi dan Sn-10Bi, di mana IMC Cu6Sn5 dan

www.itk.ac.id

Cu3Sn terbentuk pada antarmuka dan kinetika pertumbuhan IMC Cu-Sn lapisan dipelajari di bawah penuaan termal, sementara sebagian besar penelitian difokuskan pada solder eutektik Sn-58Bi. (Lee,2015) menyelidiki produk reaksi antarmuka solder Sn-58Bi pada Cu dan emas perendaman nikel tanpa listrik (ENIG), dan IMC yang sesuai adalah Cu6Sn5 dan Ni3Sn4, masing-masing(Hu, 2013) mempelajari kinetika pertumbuhan Cu-Sn IMC antara lelehan Sn-58Bi dan Cu, dan menemukan bahwa ketebalan IMC mengikuti pertumbuhan linier pada suhu penyolderan. (Lee, 2015) secara sistemik mempelajari pengaruh unsur paduan ketiga pada pertumbuhan IMC cair Sn-58Bi pada Cu, dan menemukan bahwa hanya Zn yang efektif untuk menekan pertumbuhan IMC.

2.5 Pengujian Mikroskop Optik

Dalam pengujian mikroskop optik terbagi menjadi beberapa tahapan seperti berikut :

2.5.1 Prosedur Persiapan

Sectioning , Spesimen yang relatif lunak (kurang dari 35 HRC) dapat dipotong menggunakan gergaji pita atau gergaji besi. Spesimen dengan kekerasan lebih tinggi harus dipotong menggunakan roda pemotong abrasif berpendingin air. Mata pisau harus memiliki ikatan yang lembut untuk pemotongan yang efektif dan menghindari pembakaran. Saat bekerja dengan baja perkakas paduan tinggi as-quenched, mungkin berguna untuk mematahkan spesimen. Ini akan menghasilkan permukaan yang datar dan bebas kerusakan karena kerapuhan ekstrim dari baja tersebut. Permukaan yang retak kemudian dapat digiling dan dipoles untuk pemeriksaan. Untuk kekerasan tinggi, baja paduan tinggi, pemotongan dengan gergaji roda berlian atau boron nitrida kubik kecepatan rendah dapat memberikan permukaan berkualitas tinggi dengan tingkat pemotongan minimum yang rendah, permukaan seperti itu halus, dan penggilingan dapat dimulai dengan butiran halus (320- hingga 400-grit silikon karbida, misalnya) (voort, 2015).

Mounting, Sampel bulk/besar sering kali dapat dipoles tanpa dipasang. Meskipun sebagian besar perangkat pemoles otomatis modern dapat menangani

www.itk.ac.id

spesimen yang tidak terpasang, beberapa tidak dapat. Jika retensi tepi penting, pemasangan mungkin diinginkan. Pelapisan permukaan sebelum pemasangan menghasilkan hasil yang optimal, tetapi jarang diperlukan. Resin epoksi yang dipasang dengan kompresi, seperti Epomet®, memberikan retensi tepi yang sangat baik bahkan dengan spesimen tanpa pelat. Perangkat pemoles otomatis daripada pemolesan tangan menghasilkan retensi tepi yang lebih baik. Untuk spesimen kecil atau berbentuk aneh, pemasangan lebih disukai. Jika tepiannya tidak menarik, sebagian besar media pemasangan memuaskan. Namun, beberapa tunggangan memiliki ketahanan yang buruk terhadap pelarut seperti alkohol, dan banyak yang terdegradasi parah jika diperlukan etsa yang dipanaskan (voort, 2015).

Grinding, Dalam pendekatan tradisional, digunakan perangkat manual (pemolesan tangan) atau otomatis. Kertas silikon karbida berpendingin air (diameter 220 hingga 300 mm, atau 8 hingga 12 inci) digunakan untuk tahap penggilingan; ukuran grit awal yang dipilih tergantung pada teknik yang digunakan untuk menghasilkan permukaan potongan. Urutan grit yang biasa adalah 120, 240, 320, 400, dan 600-grit. Ukuran grit yang lebih halus dapat digunakan untuk baja perkakas dengan paduan tinggi di mana penarikan karbida merupakan masalah. Tekanan penggerindaan harus sedang hingga berat, dan waktu penggerindaan 1 hingga 2 menit biasanya digunakan untuk menghilangkan goresan dan deformasi dari langkah sebelumnya (voort, 2015).

Polishing / pemolesan juga dapat dilakukan secara manual atau otomatis menggunakan berbagai perangkat. Bahan abrasif alumina, umumnya 0,3-µm -alumina (Al_2O_3) dan 0,05-µm y-Al_2O_3, banyak digunakan dengan kain mediumnap untuk pemolesan akhir. Silika koloid (SiO_2), dengan kisaran ukuran partikel 0,04 hingga 0,06-µm, juga sangat efektif (voort, 2015).

2.5.2 Proses *Etching*

Pengetsa yang paling banyak digunakan untuk baja perkakas adalah nital. Konsentrasi dari 2 sampai 10% telah digunakan. Umumnya, 2 atau 3% nital cukup untuk sebagian besar baja perkakas sementara konsentrasi 10% diperlukan untuk baja perkakas dengan paduan tinggi, seperti tipe D. Pengetsaan lain, meskipun

www.itk.ac.id

jarang digunakan, bisa lebih bernilai. Tabel 2. mencantumkan komposisi sejumlah reagen khusus untuk mencapai etsa selektif atau meningkatkan kontras di antara konstituen mikro (voort, 2015).

www.itk.ac.id

Tabel 2 . 3 Macam macam jenis etsa

Composition	***Comments***
1-10 mL HNO3 99-90 mL *Ethanol*	*Nital. Most commonly used reagent. Reveals ferrite grain boundaries and ferrite-carbide interfaces. Excellent for martensite.*
4 g *Picric acid* 100 mL *Ethanol*	*Picral. Recommended for annealed structures or those containing pearlite or bainite. Does not reveal ferrite grain boundaries. Addition of a few drops of zephiran chloride increases etch rate. Add 1-5 mL HCl to improve etch response for annealed higher alloy tool steels.*
1 g *Picric acid* 5 mL HCl 95 mL *Ethanol*	*Vilella's reagent. Reveals structure of higher alloyed tool steels.*
50 mL *sat. Aq. Sodium thiosulfate* 1 g *Potassium metabisulfite*	*Klemm's I tint etch. Immerse specimen until the surface is colored violet. Colors ferrite blue and red while martensite is brown. Carbides are unaffected. Works well only on low alloy and carbon tool steels.*
0.6 mL HCl 0.5-1.0 g *Potassium metabisulfite* 100 mL *water*	*Beraha's reagent. Immerse specimen until the surface is colored. Colors ferrite and martensite, carbides are not affected. Good for most tool steels.*
3 g *Potassium metabisulfite* 2 g *sulfamic acid* 0.5-1.0 g *Ammonium bifluoride* 100 mL *water*	*Beraha's sulfamic acid reagent No. 4. For carbon and low-alloy tool steels, leave out the NH4F•HF. Immerse until the surface is colored. Ferrite and martensite are colored; carbides are not affected.*
2 g *Picric acid* 25 g NaOH 100 ml, *water*	*Alkaline sodium picrate. Colors cementite and M6C carbides. Immerse specimen in solution at 80-100 °C for up to 15 minutes.*

www.itk.ac.id

10 g K3Fe(CN)6 10 g NaOH or KOH 100 mL *water*	*Murakami's reagent. Use at 20 °C to outline and darken M7C3 and M6C, and to outline M2C. M23C6 is faintly colored.*
4 g KMnO4 4 g NaOH 100 mL *water*	*Groesbeck's reagent. Use at 20 °C to outline M2C and to outline and darken M6C. M7C3 is faintly colored.*
1 g Cr03 100 mL *water*	*Blickwede and Cohen's etch. Use at 2-3 V dc, 20 °C, for 30 seconds with a stainless steel cathode. Outlines M23C6, Outlines and colors M7C3, colors MC and attacks M2C.*

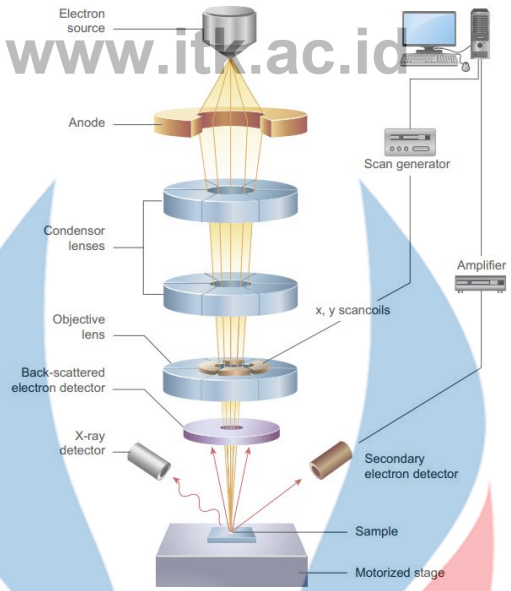
www.itk.ac.id

2.6 Pengujian SEM – EDX

Dalam SEM pancaran elektron difokuskan ke suatu titik, dan dipindai secara berurutan di seluruh spesimen (Stokes, 2008; Reimer, 1998; Egerton, 2011; Goldstein et al., 2007; Kuo, 2014; Pawley dan Schatten, 2014). Di setiap lokasi, sinyal dipancarkan dari spesimen dan dikumpulkan oleh detektor. Sinyal detektor disinkronkan dengan lokasi berkas yang diketahui pada spesimen, dan intensitas sinyal digunakan untuk memodulasi piksel gambar yang sesuai. Sinyal yang dikumpulkan secara seri digabungkan untuk membentuk gambar yang dimensi / distribusi pikselnya bergantung pada pola pemindaian yang dipilih. Energi elektron tipikal adalah 1-30 keV.

SEM adalah teknik pilihan untuk analisis permukaan spesimen (Stokes, 2008; Reimer, 1998; Egerton, 2011; Goldstein et al., 2007; Kuo, 2014; Pawley dan Schatten, 2014). Gambar 2.6 menunjukkan tata letak khas SEM, yang meliputi senapan elektron (sumber elektron dan anoda percepatan), lensa elektromagnetik untuk memfokuskan elektron, ruang vakum yang menampung tahap spesimen, dan pilihan detektor untuk mengumpulkan sinyal yang dipancarkan dari spesimen.

www.itk.ac.id



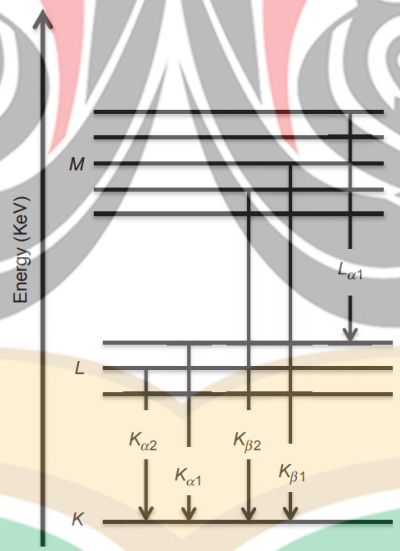
Gambar 2. 2 Diagram skematik komponen inti mikroskop SEM

2.7 Pengujian XRD

Metode eksperimental berdasarkan sinar-X yang digunakan dalam ilmu dan teknik material dapat dibagi menjadi tiga kategori utama (Spieß, 2009). Spektroskopi fluoresensi sinar-X banyak digunakan untuk analisis kimiawi kualitatif dan kuantitatif, khususnya, dalam mikroskop elektron. Radiografi sinar-X adalah teknik pencitraan berdasarkan registrasi intensitas yang melewati suatu objek dengan menggunakan film atau detektor yang memungkinkan struktur internalnya terlihat karena variasi lokal dari penyerapan. Salah satu perkembangan utama dalam dekade terakhir di bidang ini adalah tomografi komputer sinar-X. Akhirnya, metode XRD didasarkan pada kemampuan kristal untuk mendifraksi sinar-X dengan cara yang khas memungkinkan studi yang tepat dari struktur fase kristal.

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik berenergi tinggi dengan panjang gelombang antara 10^{-3} dan 10^{1} nm (Spieß et al., 2009). Pembangkitan sinar-X umumnya dicapai dengan menggunakan tabung tertutup, anoda berputar atau sumber radiasi sinkrotron. Tabung tertutup dan anoda berputar, yang digunakan dalam peralatan laboratorium, keduanya menghasilkan sinar-X dengan

prinsip yang sama. Elektron yang dihasilkan dengan memanaskan filamen tungsten dalam ruang hampa dipercepat melalui medan potensial tinggi dan kemudian diarahkan ke target yang kemudian memancarkan sinar-X. Elektron yang datang menyebabkan dua efek yang mengarah pada pembentukan sinar-X: yang pertama adalah perlambatan elektron yang mengarah ke emisi foton sinar-X dengan distribusi panjang gelombang yang luas dan terus menerus, juga disebut Bremsstrahlung (Schwartz dan Cohen, 1987) . Yang kedua adalah ionisasi atom yang terkena dengan mengeluarkan elektron dari kulit bagian dalam. Untuk mendapatkan keadaan yang lebih stabil, elektron dari kulit terluar "melompat" ke celah ini. Perbedaan antara energi elektron kulit dalam dan elektron yang masuk dipancarkan dalam bentuk foton, dengan energi karakteristik bergantung pada posisi kulit awal dan akhir elektron dan pada material seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 (Schwartz dan Cohen, 1987). Radiasi karakteristik membutuhkan potensi eksitasi minimum dari elektron yang akan dipancarkan, yang bergantung pada bahan target (Epp, 2016).



Gambar 2. 3 Skema tingkat energi atom dan emisi karakteristik radiasi sinar-X

2.8 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 2 . 4 Penelitian Terdahulu

www.itk.ac.id

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	J. F. Li dkk, 2006	Metode: Sampel digabungkan dengan *temperature* udara 200 C, 220 C, dan 240 C antara 1 hingga 48 jam kemudian dilakukan pengujian untuk mengidentifikasi dan mengukur ketebalam IMCs. Hasil: Terbentuk lapisan IMC berupa Cu6Sn5 dan Cu3Sn dengan ketebalan yang bervariasi mengikuti distribusi normalnya.
2.	Xiaowu Hu dkk, 2013	Metode: Menggunakan substrat Cu dan solder SnBi yang diletakkan di dalam oven dengan *temperature* berkisar antara 220 C hingga 300 C selama 30 menit dan sampel lainnya diletakkan di dalam oven dengan *temperature* konstan 240 C dengan waktu 10, 30, 60, 90 menit 8 Hasil: Terbentuk lapisan IMC Cu6Sn5 dan Cu3Sn dengan ukuran butir yang meningkat seiring dengan meningkatnya waktu dan temperatur. Terjadi segregasi Bi pada antarmuka Cu3Sn/Cu sehingga terbentuk partikel Bi yang terisolasi.
3.	Xiaowu Hu dkk, 2014	Metode: Menggunakan solder pasta Sn-58Bi dan dua lembaran tembaga. Spesimen disatukan dengan menggunakan *temperature reflow* 180 C, 200 C, dan 220 C selama 10 menit. Kemudian dilakukan pengujian secara mekanik Hasil: Terbentuk lapisan IMC Cu6Sn5 dengan ketebalan yang meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur reflow. Peningkatan temperatur ini juga menunjukkan adanya penurunan kekuatan tarik. Peningkatan laju regangan. menyebabkan peningkatan kekuatan tarik pada

www.itk.ac.id

		sambungan.
4.	Fengjiang Wang dkk, 2018	Metode: Dua potong substrat tembaga (Cu) (0,8 mm × 15 mm × 15 mm) dengan kemurnian Cu (99,9 wt %), dan satu permukaan (0,8 mm × 15 mm) harus diamplas dan dipoles dengan hati-hati. Foil Sn-58Bi dengan ketebalan 200 m digunakan sebagai paduan solder pada sambungan Cu/solder/Cu yang diapit. Kedua substrat Cu kemudian disejajarkan dan difiksasi sebelum perakitan dipanaskan dalam platform pemanas di mana solder dialiri ulang pada 170 ° C selama 30 detik. Setelah penyolderan, sampel dikerjakan dan dipotong seperti batang ramping menggunakan pemesinan pelepasan listrik, di mana penampang sambungan solder berukuran sekitar 0,3 mm × 0,3 mm.
5.	Kyung Deuk Min dkk, 2020	Metode: pengikat TLPS dibuat dengan partikel Cu (diameter: 4 μm), Sn-58 wt%Bi (diameter: 35 μm), dan fluks (CVP-520, Alpha Co., USA). Rasio fluks meningkat dengan meningkatnya rasio Cu untuk tiksotropik yang tepat karena luas permukaan partikel Cu (diameter: 4 μm) lebih besar daripada Sne58 wt%Bi (diameter: 35 μm) dalam kondisi volume yang sama. ikatan TLPS dicetak pada substrat Cu dengan metode pencetakan stensil (bukaan: 3x3 mm^2, ketebalan: 70 μm), dan chip Cu ditempatkan pada bahan bonding TLPS. Sampel kemudian dipanaskan pada suhu maksimum 220 C dengan total waktu proses bonding 2 jam di udara. Secara rinci, laju pemanasan dan laju pendinginan masing-masing adalah 10 C/menit dan 5 C/menit.

www.itk.ac.id
www.itk.ac.id