

BAB II

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

Teknologi penyambungan solder seringkali digunakan pada industri pengemasan elektronik untuk membuat interkoneksi antara senyawa elektronik untuk waktu yang lama. 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 temperature yang rendah (Chen S. W., 2006) Sebagian besar solder eutektik bebas timbal adalah paduan Sn diantaranya yaitu Au, Ag, Cu, Bi, Cd, In, Sb, atau Zn (McCormack, 1994) (Artaki, 1994). Namun paduan ini memiliki titik melting point yang tinggi sehingga menghasilkan temperatur reflow yang tinggi pula, seperti yang terlihat pada **Tabel 2.1**

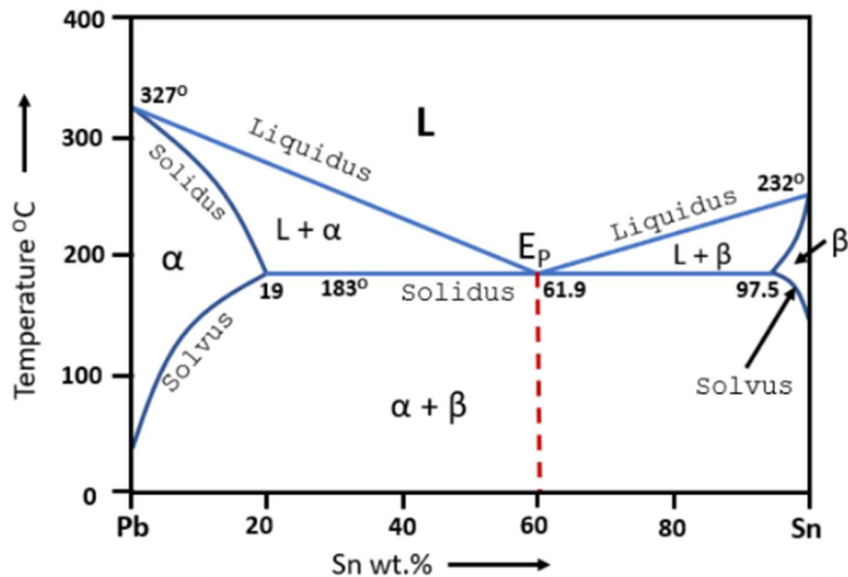
Tabel 2. 1 Solder Eutektik Binary Tanpa Pb (Laksono, 2017)

Sistem	Temp. Eutektik (°C)	Komposisi Eutektik (wt%)
Sn	231,9	-
Sn-Cu	227	0,7
Sn-Ag	221	3,5
Sn-Au	217	10
Sn-Zn	198,5	9
Sn-Pb	183	38,1
Sn-Bi	139	57
Sn-In	120	51

2.2 SnPb

Sejarah penggunaan solder berbasis timbal (SnPb) dimulai pada awal abad ke 20, di mana paduan timbal-timah (SnPb) menjadi standar industri karena karakteristiknya yang ideal, seperti titik leleh yang rendah (183°C untuk Sn63Pb37) dan kemampuan untuk menghasilkan sambungan yang andal serta tahan lama. Solder SnPb digunakan secara luas dalam industri elektronik dan metalurgi, terutama karena kemampuannya memberikan sambungan yang konduktif secara listrik dan termal. Namun, pada akhir 1990-an, kekhawatiran terhadap dampak lingkungan dan kesehatan akibat paparan timbal mulai meningkat. Timbal dianggap sebagai bahan berbahaya karena sifatnya yang toksik, yang dapat menyebabkan masalah kesehatan jika terakumulasi dalam tubuh manusia dan mencemari lingkungan. Dengan meningkatnya kesadaran tentang bahaya ini, serta diberlakukannya regulasi seperti *Restriction of Hazardous Substances (RoHS)* di Uni Eropa pada tahun 2006, yang melarang penggunaan timbal dalam produk elektronik, muncul kebutuhan untuk mencari alternatif yang lebih aman. Solder bebas timbal (lead-free solder), yang umumnya terdiri dari paduan berbasis timah, perak, dan tembaga (Sn-Ag-Cu), mulai menggantikan SnPb secara bertahap. Paduan ini menawarkan kinerja yang serupa dalam hal kekuatan mekanis dan konduktivitas listrik, meskipun memiliki titik leleh yang lebih tinggi dan tantangan teknis dalam proses soldering. Sejak pengadopsiannya, solder bebas timbal telah menjadi standar baru dalam banyak industri, meskipun penelitian dan inovasi terus berlanjut untuk meningkatkan efisiensi dan keandalannya. (Brown & Lee, 2018)

Solder paduan Sn-Pb telah lama menjadi pilihan utama industri elektronik karena suhu lelehnya yang rendah sekitar 183°C , dan sifat mekanik yang baik dengan kekerasan paduan mencapai 40 VHN. Timbal dalam solder Sn-Pb memberikan banyak keuntungan teknis seperti pengurangan tegangan permukaan timah murni, mencegah transformasi timah putih menjadi abu-abu karena berfungsi sebagai elemen pelarut.



Gambar 2. 1 Diagram SnPb (Wang et al., 2024)

Gambar di atas menjelaskan diagram fasa eutektik paduan Sn-Pb, dimana fasa padat di ujung kiri diagram adalah alfa (α) yaitu paduan Pb, dan juga fasa padat di ujung kanan merupakan fasa β yang merupakan padatan Sn, dimana kedua padatan tersebut dikenal sebagai terminal solid solution (Wang et al., 2024). Diagram diatas menyatakan titik eutektik pada komposisi 61,9% Sn, 38,9% Pb, $T=183^{\circ}\text{C}$ dimana paduan eutektik yang merupakan jenis solder yang paling populer digunakan dalam perangkat elektronik selama bertahun-tahun. Solder ini meleleh pada suhu yang lebih rendah daripada komponen yang disambung. Solder Sn-Pb menciptakan sambungan solder dengan kekuatan mekanis yang sesuai untuk perangkat elektronik (Wang et al., 2024).

2.3 Solder bebas timbal

Perkembangan solder bebas Pb dimulai ketika muncul kekhawatiran terhadap dampak kesehatan dan lingkungan yang disebabkan oleh timbal, terutama di industri elektronik. Pada awal 2000-an, berbagai regulasi, seperti *Restriction of Hazardous Substances* (RoHS), mulai diberlakukan di beberapa negara untuk membatasi penggunaan timbal dalam perangkat elektronik. Hal ini mendorong penelitian intensif untuk menemukan alternatif yang aman namun tetap memiliki performa yang setara. Salah satu paduan yang paling banyak digunakan dalam

solder bebas timbal adalah paduan timah, perak, dan tembaga (Sn-Ag-Cu), yang dikenal dengan nama SAC solder. Meskipun SAC solder memiliki titik leleh yang lebih tinggi daripada SnPb, paduan ini telah menunjukkan kinerja yang baik dalam hal kekuatan mekanis, ketahanan terhadap siklus panas, dan konduktivitas listrik. Selain itu, penambahan elemen minor seperti bismut atau nikel juga telah dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat solder bebas Pb, terutama dalam meningkatkan kekuatan sambungan dan menurunkan suhu leleh. Saat ini, solder bebas Pb telah menjadi standar di berbagai industri, meskipun tantangan teknis seperti peningkatan biaya dan kebutuhan akan teknologi soldering yang lebih canggih masih menjadi fokus penelitian (Kim & Park, 2020).

Paduan ini umumnya terdiri dari sekitar 99,3% timah dan 0,7% tembaga, yang dirancang untuk menggantikan solder timbal dalam berbagai aplikasi. Solder Sn-Cu sering digunakan dalam aplikasi solder yang tidak memerlukan kekuatan mekanis yang sangat tinggi, seperti pada papan sirkuit cetak atau penyolderan kabel. Di antara kandidat paduan bebas Pb baru, solder Sn-0,7Cu merupakan alternatif yang murah dan menunjukkan karakteristik yang menjanjikan. Pengaruh kandungan Cu pada Sn- Cu diteliti oleh (Hung et al, 2008) . Ditemukan bahwa penambahan Cu memainkan peran penting dengan peningkatan kandungan Cu, suhu leleh paduan solder akan meningkat secara signifikan yang secara langsung akan mempengaruhi. suhu penyolderan.

Tabel 2. 2 Nilai Melting point

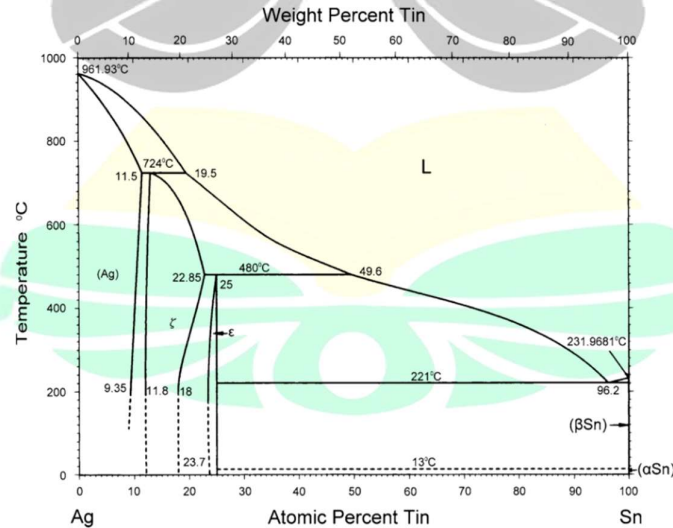
Paduan	Melting poin(°C)	Ref
Sn-0,7Cu	227	(Zhao et al., 2019)
Sn-0,7Cu7%Zn	173	(Erwin Siahaan & Rosehan, 2018)
Sn0.7Cu2Ag	198	(Siahaan & Riza, 2020)
Sn-5Sb	245	(Vafaeenezhad et al., 2019)
Sn-0.6Cu-0.06Ni	229	(Rosoiu et al., 2021)

Solder bebas timbal memiliki kelebihan yaitu sifatnya yang lebih ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan, karena tidak mengandung timbal yang bersifat toksik, Namun dalam pemilihan paduan solder bebas timbal perlu untuk memperhatikan temperatur leleh paduan solder bebas timbal karena secara

langsung mempengaruhi kualitas dan keandalan sambungan elektronik, Jika suhu yang terlalu tinggi dapat merusak komponen elektronik atau papan PCB. Oleh sebab itu, pemilihan dan pengendalian temperatur leleh solder bebas timbal menjadi faktor penting dalam memastikan keberhasilan dan keamanan proses penyolderan(Kumar & Maurya 2022).

2.4 Paduan Sn-Ag-Cu

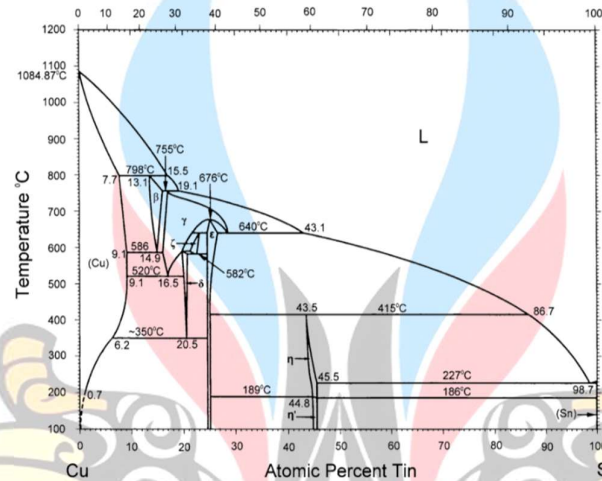
Penggunaan timbal pada produk elektronik saat ini telah dibatasi akibat masalah kesehatan dan lingkungan yang ditimbulkan, sehingga penggunaan solder bebas timbal diusulkan sebagai alternatif pengganti solder konvensional yang mengandung timbal pada rangkaian perangkat elektronik. Dari beberapa solder bebas timbal alternatif, paduan solder Sn-Ag-Cu (SAC) dianggap sebagai salah satu paduan bebas timbal yang cukup menjanjikan karena memiliki sifat mekanik yang unggul dan *wettability* yang baik (Hillman et al., 2018). Solder Sn-Ag-Cu (SAC) telah diterapkan secara luas di industri elektronik untuk menggantikan solder Pb-Sn tradisional.



Gambar 2. 2 Diagram Ag-Sn

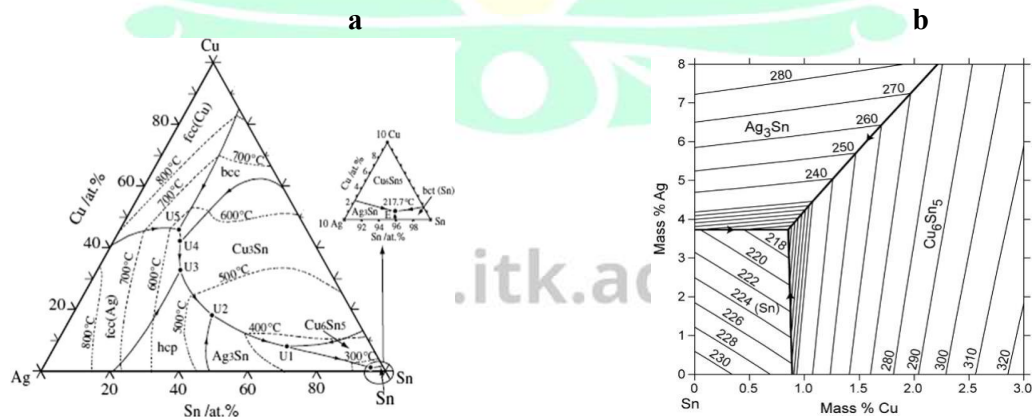
Komposisi eutektik paduan Sn-Ag berada pada Sn-3,5 wt% Ag, dengan temperatur leleh pada 221°C lebih tinggi dibandingkan dengan solder timbal, Pada titik ini, paduan akan mengalami solidifikasi dengan struktur mikro yang optimal, menghasilkan kekuatan sambungan yang baik. Fungsi utama Ag dalam solder

adalah meningkatkan kekuatan mekanis, berat jenis dan ketahanan terhadap siklus termal pada sambungan solder, sehingga membuat sambungan lebih tahan lama dan stabil di bawah kondisi operasional yang berulang, seperti perubahan suhu yang drastis (Zhou et al., 2019).



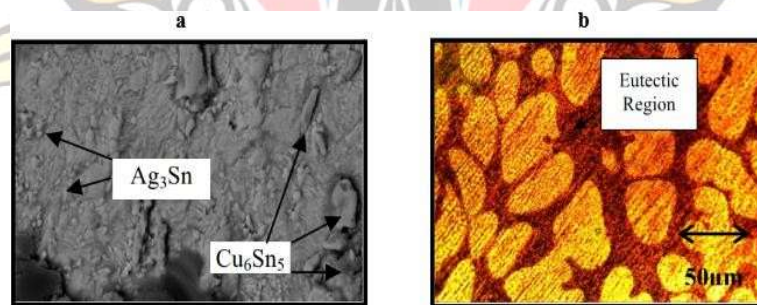
Gambar 2. 3 Diagram fasa Sn-0,7Cu

Komposisi eutectic terdapat pada 99,3 Sn – 0,7 Cu wt%. Pada komposisi eutectic, terjadi perubahan fasa dari padat menjadi cair dan titik leleh pada komposisi ini adalah 227 °C. Pengaruh kandungan Cu pada Sn-Cu diteliti oleh (Hung et al, 2008) ditemukan bahwa penambahan Cu memainkan peran penting, dengan peningkatan kandungan Cu, suhu leleh paduan solder akan meningkat secara signifikan yang secara langsung akan mempengaruhi suhu penyolderan



Gambar 2. 4 (a) Diagram fasa terner Sn-Ag-Cu (b) Diagram fasa terner Sn-Ag-Cu (sudut Sn diperbesar)

Gambar diatas menjelaskan diagram terner paduan Sn-Ag-Cu dimana fase intermetalik paduan Sn-Cu yang stabil di bawah 300 °C adalah fase Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 (jurnal sn-cu) dan juga fasa biner Sn-Ag, terdapat dua senyawa intermetalik yang terbentuk, yaitu $\text{f-Ag}_4\text{Sn}$ dan $\text{e-Ag}_3\text{Sn}$, dua reaksi peritektik, serta satu reaksi eutektik, yaitu $\text{cair} = \text{Ag}_3\text{Sn} + \text{Sn}$. Ketika suhu turun ke titik eutektik, Ag_3Sn dan Cu_6Sn_5 akan terbentuk di sepanjang batas setiap fase β - Sn yang mengarah pada pembentukan campuran IMC. Namun demikian, solder tersebut masih memiliki kelemahan, termasuk titik leleh yang tinggi karena suhu eutektik terner Sn-Ag-Cu yang mencapai 217°C jauh lebih tinggi dibandingkan dengan 183°C pada Sn-37Pb , dapat disimpulkan bahwa solder SAC bebas timbal tidak dapat langsung menggantikan solder Sn-Pb dalam prose perakitan elektronik yang sangat detail(Han et al.,2021)



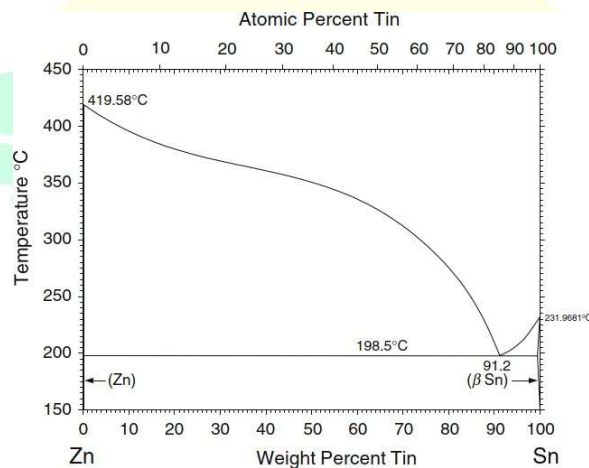
Gambar 2. 5 (a) SEM Paduan SAC perbesaran 1000x (b) Struktur mikro SAC (Singh & Noor, 2015)

Struktur mikro paduan solder SAC (Sn-Ag-Cu) menunjukkan pola dendrit yang ditutupi oleh fasa terang dan gelap, fasa terang merupakan butiran Sn kasar, sementara fasa gelap adalah daerah eutektik yang terdiri dari senyawa intermetalik Cu_6Sn_5 dan Ag_3Sn . Senyawa Cu_6Sn_5 berbentuk seperti jarum, sedangkan Ag_3Sn berbentuk seperti kerikil, yang keduanya memberikan kekuatan tambahan pada paduan solder (Singh & Noor, 2015). Keberadaan atom perak (Ag) pada solder SnAgCu meningkatkan sifat termo-mekanik dan kemampuan menahan regangan karena terbentuknya partikel Ag_3Sn yang halus dan tersebar merata. Ag_3Sn berkontribusi pada kekuatan sambungan solder, tetapi partikel ini dapat menimbulkan masalah jika ukurannya tumbuh terlalu besar (Tian et al., 2018). Sedangkan senyawa Cu_6Sn_5 terbentuk pada antarmuka solder SAC dan substrat

tembaga melalui difusi atom Cu ke solder yang kaya Sn, penambahan Cu dapat meningkatkan nilai kekerasan paduan secara signifikan yang disebabkan oleh pembentukan lapisan Cu₆Sn₅ (Nurhaliza et al., 2021)(Zhao et al., 2019).

2.5 Zinc

Paduan solder bebas timbal berbasis zinc (Zn) merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk menggantikan solder berbasis timbal dalam aplikasi penyolderan. Paduan ini biasanya mengandung kombinasi zinc dengan logam lain seperti aluminium (Al), tembaga (Cu), atau perak (Ag) untuk meningkatkan sifat mekanisnya (Liu et al., 2017). Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Siahaan zn) mengenai pengaruh penambahan Zn pada paduan Sn - 0,7 Cu, menemukan bahwa salah satu keunggulan paduan solder dengan penambahan Zn adalah ketahanan geser yang baik dan titik leleh yang relatif lebih rendah, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan komponen yang sensitif terhadap panas. Namun penambahan paduan Zn pada solder bebas timbal adalah Semakin besar penambahan Zn, nilai berat jenis dari paduan solder semakin menurun karena berat jenis Zn lebih rendah dari berat jenis Sn dan Cu. sehingga paduan zinc umumnya lebih cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan mekanis yang tidak terlalu tinggi atau komponen yang sensitif terhadap suhu tinggi.



Gambar 2. 6 Diagram Fasa Sn-Zn

Gambar di atas menjelaskan sistem biner Sn-Zn adalah sistem eutektik sederhana. Eutektik berada pada suhu 198,5°C. Berbagai upaya telah dilakukan

untuk mengembangkan solder bebas Pb dengan titik leleh yang lebih sesuai. Titik leleh paduan eutektik Sn-0,7Cu7%Zn berada pada suhu 173 °C dan lebih mendekati titik leleh eutektik Pb–Sn. Selain itu, eutektik Sn–Zn memiliki sifat mekanis yang baik dan biaya rendah, dan kemungkinan merupakan kandidat yang baik(Siaahan,2018).

2.6 Pengujian

2.6.1 Uji Massa Jenis(Densitas)

Pengujian massa jenis dalam solder merupakan metode untuk mengukur kepadatan atau massa jenis dari paduan solder, yang biasanya dinyatakan dalam satuan gram per sentimeter kubik (g/cm^3). Fungsi utama pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa paduan solder memiliki komposisi material yang sesuai dan seragam, karena variasi dalam berat jenis dapat menunjukkan adanya kontaminasi, cacat, atau perbedaan dalam komposisi elemen paduan. Berat jenis yang tepat sangat penting dalam soldering karena memengaruhi sifat fisik dan mekanis sambungan, seperti kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan konduktivitas termal serta listrik. Uji massa jenis juga berguna untuk memverifikasi kualitas bahan solder yang diproduksi, serta untuk mendeteksi masalah manufaktur seperti pencampuran logam yang tidak merata atau adanya oksida. Selain itu, pengujian ini dapat memberikan informasi mengenai homogenitas paduan solder, yang sangat penting dalam aplikasi solder bebas timbal, di mana stabilitas dan performa sambungan sangat dipengaruhi oleh komposisi material. Dengan demikian, pengujian berat jenis berperan penting dalam kontrol kualitas dan validasi material solder sebelum digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk elektronik dan metalurgi (Chen et al., 2016).

$$F = W - W_1 \quad (2.1)$$

Untuk menentukan volume sampel menggunakan rumus berikut :

$$V = F / \rho_{\text{ref}} \quad (2.2)$$

Setelah mendapatkan nilai volume sample dilanjutkan dengan perhitungan massa jenis (ρ)

$$\rho = W / V \quad (2.3)$$

Keterangan:

F_q	= Gaya apung (N)
W	= Massa sample (gram)
W_1	= Berat paduan ketika dicelupkan dalam cairan (gram)
V	= Volume sampel (
ρ_{ref}	= Massa jenis cairan referensi (gr/ml)
ρ	= Massa jenis sampel (gr/ml)

2.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam solder adalah metode yang digunakan untuk mengukur ketahanan suatu paduan solder terhadap deformasi permanen ketika diberikan tekanan atau beban. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik, seperti uji Brinell, Rockwell, atau Vickers, yang dapat memberikan informasi mengenai ketahanan mekanis dan daya tahan solder dalam kondisi operasional. Fungsi utama dari pengujian kekerasan adalah untuk menilai kinerja solder setelah proses penyolderan, di mana kekerasan yang optimal dapat menunjukkan bahwa sambungan solder cukup kuat dan mampu menahan beban serta stres mekanis tanpa mengalami kerusakan. Pengujian ini juga penting untuk mengidentifikasi potensi masalah, seperti retak atau delaminasi, yang dapat terjadi akibat kekurangan dalam kualitas solder atau pengaruh lingkungan yang ekstrem. Dengan memahami sifat kekerasan solder, produsen dapat melakukan kontrol kualitas yang lebih baik dan memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar yang ditetapkan untuk kekuatan dan daya tahan dalam aplikasi yang berbeda, terutama di industri elektronik yang sering mengalami siklus termal dan mekanis yang berulang (Kumar & Singh, 2018).



Gambar 2. 7 Vickers Hardnest test (Kumar & Singh, 2018)

$$\text{VHN} = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{D^2} = \frac{(1,854)F}{D^2} \quad (2.2)$$

Untuk mencari panjang diagonal rata-rata menggunakan rumus berikut

$$D = \frac{d1 + d2}{2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

VHN = nilai kekerasan vickers (kg/mm²)

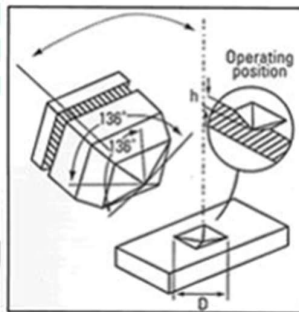
F = beban yang diberikan (kg)

D = panjang diagonal rata-rata (mm)

d1 = panjang diagonal 1 (μm)

d2 = panjang diagonal 2 (μm)

θ = sudut antara permukaan yang berhadapan = 136°



Gambar 2. 8 Pengujian kekerasan Vickers

2.6.3 Pengujian temperature leleh

Pengujian temperatur leleh adalah metode yang digunakan untuk menentukan suhu suatu material mulai meleleh dan beralih dari keadaan padat menjadi cair. Pada penelitian ini menggunakan alat uji *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) yang merupakan salah satu alat dari *Thermal Analyzer* yang dapat digunakan untuk menentukan kapasitas panas dan entalpi dari suatu bahan. Bahan yang dapat dianalisis kapasitas panas dan entalpinya menggunakan DSC adalah bahan logam, paduan logam dan bahan keramik (Ginting, A. B. 2005). Pengujian ini sangat penting karena temperatur leleh yang tepat berpengaruh langsung terhadap proses penyolderan, di mana solder harus meleleh pada suhu yang cukup rendah untuk mencegah kerusakan pada komponen elektronik yang sensitif. Fungsi utama dari pengujian temperatur leleh adalah untuk memastikan bahwa paduan solder memiliki karakteristik yang sesuai untuk aplikasi yang diinginkan, serta untuk mengidentifikasi variasi dalam komposisi material yang dapat mempengaruhi performa solder. Selain itu, pengujian ini membantu dalam pengembangan paduan baru dengan titik leleh yang dioptimalkan, yang memungkinkan untuk peningkatan efisiensi dalam proses penyolderan (Zhang et al., 2019).



Gambar 2. 9 Differential Scanning Calorimetry (DSC)

2.6.4 Pengujian SEM - EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) – *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) merupakan metode yang secara luas digunakan untuk pengamatan morfologi permukaan, struktur dan pemetaan kandungan berbagai jenis sampel mulai dari bahan alam, organik, anorganik, polimer, logam hingga

sampel biologi. Pengujian ini pada paduan solder bebas timbal bertujuan untuk menganalisis struktur mikro dan komposisi elemen pada material tersebut. SEM memungkinkan pengamatan morfologi permukaan dengan resolusi tinggi, sehingga dapat mengidentifikasi distribusi fasa, cacat mikro, dan interaksi antar material dalam paduan solder. Sementara itu, EDX digunakan untuk menentukan jenis dan persentase elemen yang ada dalam material secara kuantitatif. Metode pengamatan ini menggunakan berkas elektron pancaran energi tinggi untuk memindai objek sehingga menghasilkan citra dan komposisi sampel, berkas elektron yang digunakan sebagai sumber memiliki panjang gelombang puluhan ribu kali lebih pendek dari panjang gelombang cahaya tampak sehingga citra yang dihasilkan metode ini memiliki resolusi dan detail gambar yang lebih baik daripada mikroskop optik (Masta, 2020). Metode ini dapat menghasilkan citra gambar 3D dengan perbesaran dan resolusi yang jauh lebih tinggi (Sahdiah dkk,2023)

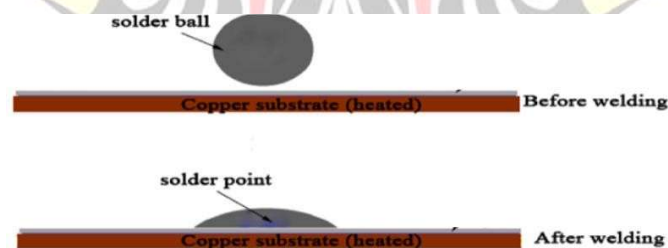


Gambar 2. 10 Mesin Pengujian SEM-EDX

2.6.5 Pengujian Wettability

Wettability adalah parameter penting dalam proses penyolderan yang menggambarkan kemampuan suatu logam cair, seperti solder, untuk membasahi dan menyebar pada permukaan padatan (substrat), yang secara langsung memengaruhi kualitas dan kekuatan sambungan solder. Wettability yang baik memastikan terbentuknya ikatan metalurgi yang kuat antara solder dan substrat, sehingga menghasilkan sambungan yang tahan lama dan andal. Beberapa faktor yang memengaruhi wettability antara lain komposisi kimia solder (misalnya penambahan unsur Zn, Ag, atau Cu), kondisi permukaan substrat (seperti kebersihan dan kekasaran), jenis fluks yang digunakan, serta suhu dan waktu penyolderan. Penambahan Zn pada solder berbasis Sn, misalnya, diketahui dapat

meningkatkan wettability karena Zn mampu menurunkan tegangan permukaan solder dan meningkatkan reaktivitas pada antarmuka solder-substrat (Akashev, 2018). Untuk menguji wettability, biasanya digunakan metode seperti sessile drop atau spread test yang mengukur sudut kontak (contact angle) antara solder cair dan substrat—di mana sudut yang lebih kecil menunjukkan kemampuan wetting yang lebih baik—serta diameter sebaran solder. Selain itu, permukaan substrat yang dibersihkan atau diaktivasi dengan fluks mampu meningkatkan penyebaran solder secara signifikan (Shnawah, 2012). Dalam berbagai penelitian, dijelaskan bahwa wettability yang buruk dapat menyebabkan terbentuknya voids, incomplete wetting, atau bahkan kegagalan sambungan, yang dapat menurunkan performa dan keandalan perangkat elektronik (Laurila, 2005) (Zhou, 2014). Oleh karena itu, pemahaman dan pengujian wettability menjadi aspek krusial dalam pengembangan material solder bebas timbal (lead-free solder) yang ramah lingkungan dan berperforma tinggi dalam industri elektronik modern.



Gambar 2. 11 Proses persebaran material

2.7 Penelitian terdahulu

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

Tabel 2. 3 Penelitian Sebelumnya

No	Nama dan Tahun Publikasi	Metode dan Hasil
1	Erwin Siahaan & Rosehan, 2018	Metode: Karakterisasi paduan solder bebas timbal paduan Sn-0,7Cu-“X”Zn dengan perubahan komposisi Zn(5%,6%,7%) Hasil: Semakin besar penambahan Zn yang

		ditambahkan pada paduan, maka kekuatan geser dari paduan semakin meningkat. Titik leleh paduan juga akan semakin mendekati SnPb dan juga penambahan unsur Zn berpengaruh terhadap nilai berat jenis dari paduan, semakin besar penambahan Zn, nilai berat jenis dari paduan terlihat semakin menurun
2	Siahaan & Riza, 2020	Metode: Karakterisasi paduan solder bebas timbal paduan Sn-0,7Cu-“X”Ag dengan perubahan komposisi Ag(1%,1.5%,2%) Hasil: Pengaruh penambahan Ag pada paduan solder bebas timbal Sn-Cu-Ag dapat meningkatkan berat jenis, temperatur leleh, nilai kekerasan dan kekuatan geser paduan solder bebas timbal.
3	Jayesh and Elias 2020	Metode: Karakterisasi paduan terner solder bebas timbal Sn-0.5Cu-3Bi dengan penambahan Ag dengan persentasi (0, 0,25, 0,5, 0,75 dan 1,0 wt%) Hasil: Pengaruh penambahan Ag ke dalam paduan solder Sn-0.5Cu-3Bi adalah Penambahan Ag menghasilkan peningkatan suhu leleh paduan solder dan Penambahan Ag menghasilkan peningkatan kekerasan struktur mikro paduan solder bebas timbal
4	Y. Chen et al. 2021	Metode: Karakterisasi paduan terner solder bebas timbal Sn-1.0Ag-0.5Cu dengan penambahan Bi terhadap kekuatan geser paduan dengan persentase Bi (0, 1, 2, 3, 4 wt%) Hasil: Kekuatan geser sambungan solder SAC105-xBi meningkat dengan bertambahnya penambahan Bi.