

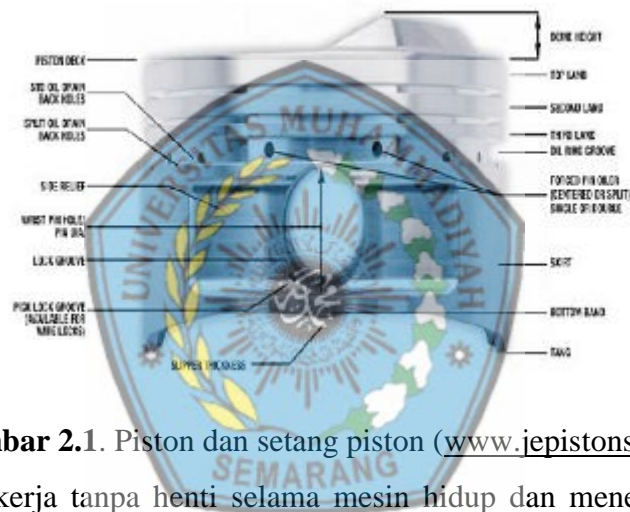
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Piston

Piston atau torak merupakan salah satu komponen vital dalam kendaraan bermotor dan bekerja setelah terjadi ledakan pada ruang bakar (Abdillah f, Achmad N, 2010). Piston terbuat dari paduan aluminium dengan komposisi yang dominan aluminium dan silikon (Solechan, 2010). Piston bekerja dengan setang piston (*connecting rod*) dalam gerakan turun naik dari *cranksaft* (Nurhadi, 2010), bagaimana bagian-bagian piston diperlihatkan **Gambar 2.1**.



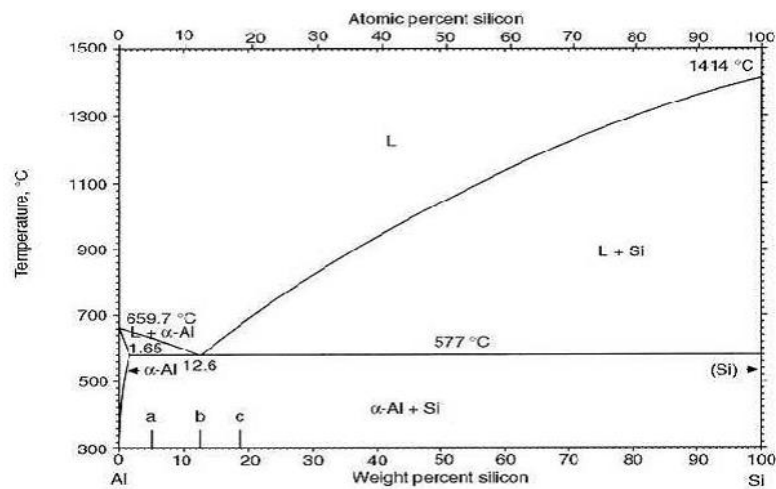
Gambar 2.1. Piston dan setang piston (www.jepistons.com)

Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup dan menerima tekanan dan temperatur tinggi sehingga harus memiliki daya tahan tinggi (Delo., 2012). Pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si). Paduan ini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien, tahan korosi, abrasi dan kekuatan mekanik tinggi, tetapi koefisien muai rendah (Guohua, et.al., 2012). Penyebab utama kerusakan piston adalah aus ditampikan pada **Gambar 2.2**. disebabkan gesekan dan temperatur tinggi, pada suhu ruang bakar mobil bias mencapai 250°C (<https://www.otosia.com>). Kurang disiplinnya merawat kendaraan terutama pengecekan oli mesin menyebabkan piston panas dan gesekan besar akibatnya mudah aus (Uwe Schilling., 2010).



Gambar 2.2 Kerusakan piston karena aus (AA1Car.com)

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. Paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan Silumin. Sifat – sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4% Mn dan 0,5 % Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (solution heat treatment), quenching, dan aging dinamakan silumin γ , danyang hanya mendapat perlakuan aging saja dinamakan silumin β . Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk piston kendaraan (Surdia, 1992). Gambar diagram fasa Al-Si ditunjukkan pada **Gambar 2.3**

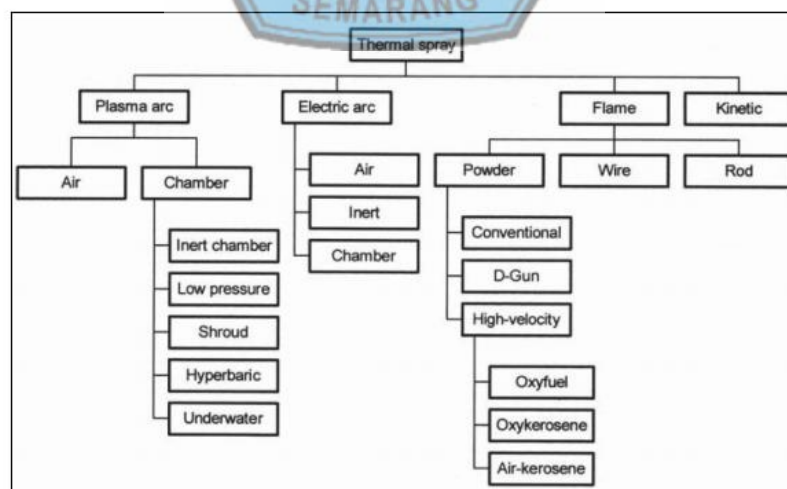


Gambar 2.3 Diagram fasa Al-Si (ASM International, 2004)

2.1.2 Thermal barrier coating

Thermal barrier coating adalah metode ekonomis untuk memproduksi bahan, peralatan dan bagian mesin yang membutuhkan sifat permukaan yang diinginkan, seperti korosi, erosi dan ketahanan aus. Lapisan yang berbeda digunakan untuk mencapai sifat yang diinginkan, serta salah satu metode yang paling efektif untuk melindungi bagian-bagian baru dari keausan, korosi suhu tinggi, tegangan sisa, erosi, dan lapisan keras dan padat, sehingga kekuatan material meningkat. (Sagar Amin, 2016).

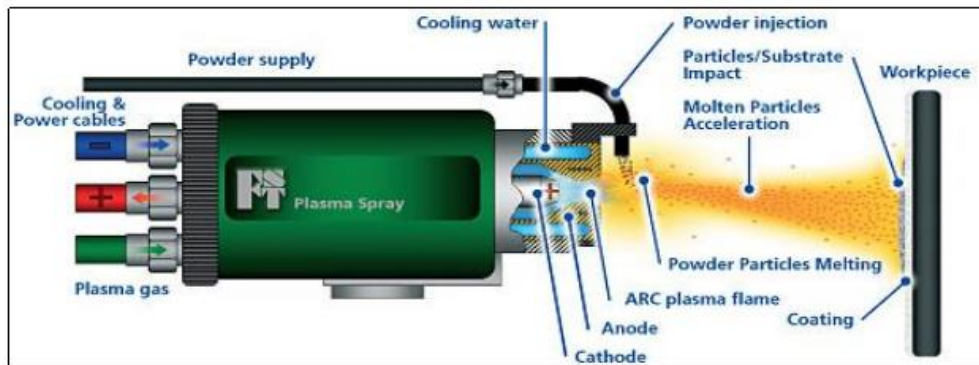
Thermal Spray adalah istilah generik untuk sekelompok proses di mana logam, keramik, cermet, dan beberapa bahan polimer dalam bentuk serbuk, kawat, atau batang diumpankan tembakan yang dengannya dipanaskan sampai mendekati atau agak di atas titik lebur. Bubuk bahan lelehan atau yang dihasilkan dipercepat dalam aliran gas dan diproyeksikan ke permukaan untuk dilapisi (yaitu, substrat). Prosesnya sangat sederhana namun membutuhkan kemampuan dan kontrol yang ekstrem. Setelah tetesan mengalir ke partikel lamellar tipis yang menempel di permukaan, saling tumpang tindih dan saling terkait setelah pematangannya. Ketebalan lapisan total dapat bervariasi dan tergantung pada jumlah lintasan. Ditunjukkan pada diagram alir berikut (**Gambar 2.4**) Ada tiga macam proses Manual, Mekanik dan Otomatis. Berdasarkan sumber panas.



Gambar 2.4 Klasifikasi berbagai proses *Thermal barrier coating*

(Sagar Amin, 2016)

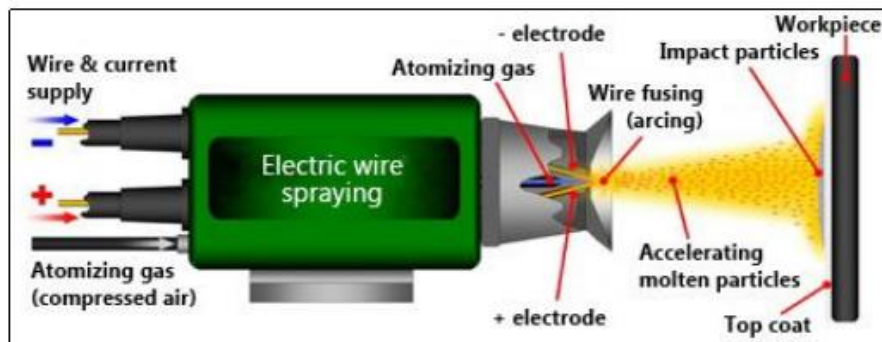
Plasma Spray adalah salah satu metode *thermal spray* yang paling canggih dan serbaguna. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**, proses semprotan plasma menggunakan busur listrik DC untuk menghasilkan aliran gas plasma terionisasi suhu tinggi, yang bertindak sebagai penyemprot sumber panas.



Gambar 2.5 Skema diagram proses *Plasma Spray*

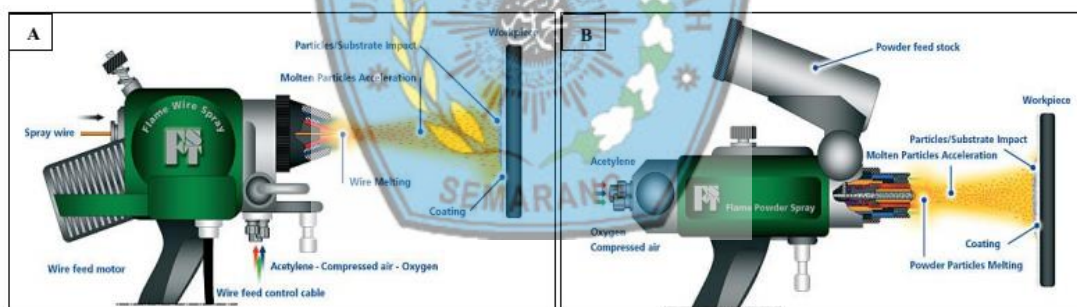
Plasma Gun terdiri dari anoda tembaga dan katoda tungsten, yang keduanya didinginkan dengan air. Busur frekuensi tinggi dinyalakan di antara keduanya. Gas plasma (misalnya., He, H₂, N₂ atau campuran) mengalir mengelilingi katoda dan melalui anoda yang dibentuk sebagai nosel yang menyempit dan terionisasi sedemikian rupa sehingga plasma panjangnya berkembang. Bahan semprotan disuntikkan sebagai serbuk di luar nosel pistol ke dalam plasma, di mana dilelehkan, dan dilemparkan oleh gas ke permukaan substrat. Ketentuan untuk pendinginan atau pengaturan laju semprotan mungkin diperlukan untuk mempertahankan suhu substrat dalam kisaran 95 sampai 205 ° C (200 sampai 400 ° F).

Electric Arc Wire Spray yaitu dua elektroda kawat habis yang terhubung ke sumber arus listrik (dc) arus masuk ke pistol dan bertemu, membentuk busur di antara mereka yang melelehkan ujung kabelnya. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**, prosesnya hemat energi karena semua energi masukan digunakan untuk melelehkan logam. Logam cair kemudian dikabutkan dan digerakkan ke arah substrat melalui aliran udara. Tingkat semprot terutama didorong oleh arus operasi dan bervariasi sebagai fungsi dari titik leleh dan konduktivitas. Suhu substrat bisa sangat rendah, karena tidak ada *hot jet gas* yang diarahkan ke substrat.



Gambar 2.6 Diagram skematik proses *Electric Arc Wire Spray*

Flame Spray merupakan proses penyemprotan termal tertua, yang ditandai dengan rendahnya biaya, tingkat deposisi dan efisiensi yang tinggi, dan relatif mudahnya pengoperasian dan biaya pemeliharaan peralatan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**, *Flame spray* menggunakan gas yang mudah terbakar sebagai sumber panas untuk melelehkan bahan pelapis. Berbagai macam bahan dapat disimpan dalam bentuk batang, kawat, atau bubuk seperti pelapis yang menggunakan proses ini. Senapan semprotan api dan sebagian besar komponen disemprotkan secara manual.

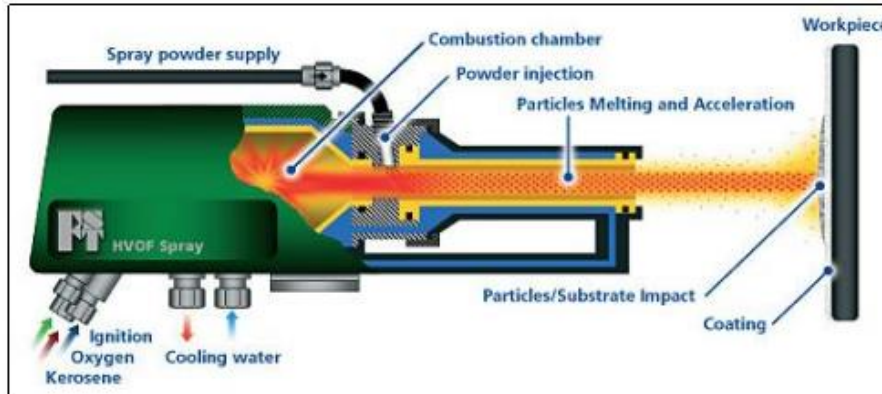


Gambar 2.7 Diagram Skema (A) *wire flame* dan (B) *powder flame processes*

Sebagian besar *flame spray gun* dapat disesuaikan untuk menggunakan beberapa kombinasi gas untuk menyeimbangkan biaya operasi dan sifat pelapis. Gas asetilena, propana, metil - asetilena - propadiena (MAPP), dan hidrogen, bersama dengan oksigen, biasanya digunakan sebagai gas semprot nyala api. Temperatur dan karakteristik api bergantung pada rasio dan tekanan gas oksigen ke bahan bakar.

High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) (**Gambar 2.8**) adalah teknologi yang relatif baru untuk jenis proses *thermal spray*. Pada awal tahun 1980an Browning dan Witfield, menggunakan teknologi mesin roket, memperkenalkan metode penyemprotan serbuk logam yang unik, teknik ini disebut sebagai *High Velocity*

Oxy-Fuel (HVOF). Prosesnya menggunakan kombinasi oksigen dengan berbagai gas bahan bakar termasuk hidrogen, propana, propilena, hidrogen dan bahkan minyak tanah.



Gambar 2.8 Diagram Skematik proses *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF)

Dalam proses HVOF, bahan bakar dan oksigen dimasukkan ke ruang bakar bersama dengan bubuk semprot. Pembakaran gas menghasilkan suhu tinggi dan tekanan tinggi di dalam ruangan, yang menyebabkan aliran supersonik gas melalui nosel. Partikel bubuk meleleh atau sebagian meleleh di ruang bakar dan selama penerbangan melalui nosel. Suhu nyala bervariasi di kisaran 2500 °C sampai 3200 °C, tergantung pada bahan bakar, gas / oksigen bahan bakar

2.1.3 Material *Thermal Barrier Coating*

1. Zirconia

Material Zirconia banyak digunakan dalam pelapisan piston untuk thermal barrier coating. Zirconia adalah material keramik berbentuk monoklinik pada temperatur 1170°C. Pada 2370°C berubah menjadi tetragonal. Perubahan struktural disertai dengan perubahan volume. Zirconia atau zirconium dioksida memiliki unsur senyawa ZrO_2 , merupakan bahan semi konduktor dan memiliki ketahanan panas tinggi (G Sivakumar, 2012).

2. Aluminium Titanat

Aluminium titanat merupakan bahan keramik yang terdiri dari campuran alumina dan titania (Al_2TiO). Material memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga banyak digunakan sebagai thermal barrier coating piston. Aluminium titanat dibuat pada temperatur di atas 1350°C.

Selanjutnya disinter pada suhu di kisaran 1400 - 1600°C di atmosfer udara. Aluminium titanate murni terurai menjadi dua tahap terpisah Al_2O_3 dan TiO_2 (G Sivakumar, 2012).

3. Hydroxyapatite

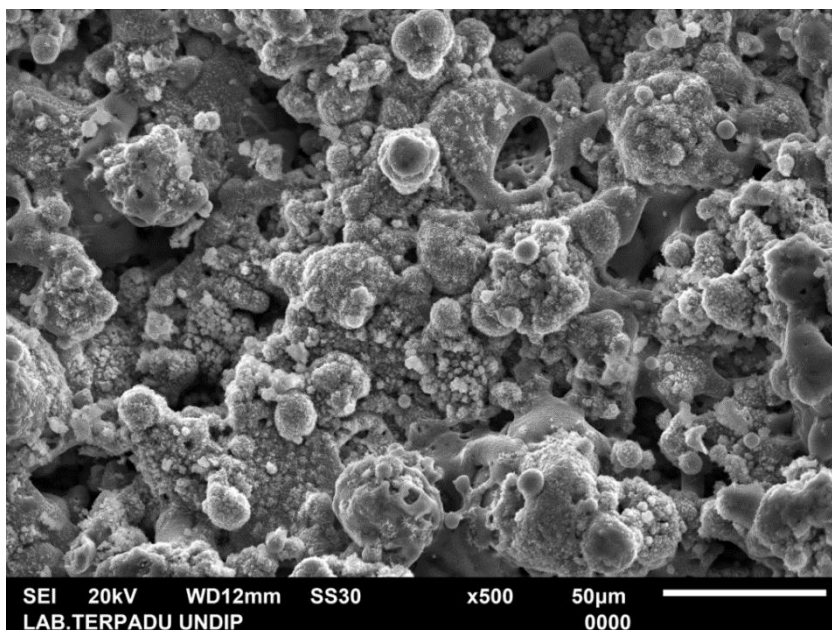
Hydroxyapatite (HA), adalah bahan bioceramic kalsium fosfat yang memiliki komposisi kimia hampir identik dengan komponen mineral tulang dan mempunyai titik lebur hingga 1100°C (<http://us.chemicalbook.com>). Biokompatibilitas dan osteokonduktivitasnya telah menyebabkan penggunaannya meluas. *Hydroxyapatite* merupakan salah satu jenis keramik yang biasanya digunakan dalam bidang medis, namun karena memiliki sifat isolator yang baik terhadap panas, sehingga dapat digunakan untuk pelapisan piston dengan metode *thermal barrier coating*. (www.academia.edu).

Hydroxyapatite juga telah diteliti untuk aplikasi non medis lainnya, misal sebagai media pengepakan untuk *kromatografi kolom*, sensor gas, katalis dan lain sebagainya (Cheng, 2003). MSDS (*measure data sheet*) dari *hydroxyapatite*.

2.2 Pengujian Mekanik

2.2.1 Uji scanning electron microscope

Sampel struktur mikro diambil dari bagian yang dilapisi *thermal barrier coating* pada permukaan piston. Pembesaran yang dilakukan 200, 1000, 5000, dan 10.000 kali. keseragaman wilayah distribusi coating yang diamati (Mahadevan, 2008). *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisa struktur mikro sampai topografi permukaan dengan pembesaran sampai 3000.00 kali dan resolusi 4 – 9 nm. Prinsip kerja SEM menggunakan tumbukan electron untuk menganalisis objek yang ditransformasikan menjadi gambar. Berikut adalah contoh gambar yang dihasilkan oleh *scanning electron microscope* pada salah satu spesimen, pada bagian ini yang ditampilkan dari hasil *scanning electron microscope* adalah bagian permukaannya dan sisi samping.



Gambar 2.9 Hasil *Scanning* pelapisan HA pada Piston (Lab Terpadu Undip, 2017)

Pengujian SEM ini menggunakan standar ASTM F 1372-93, pengujian SEM ini dilakukan di Universitas Diponegoro Semarang. Tahap proses pengujian berdasarkan standar ASTM F 1372-93, plat spesimen yang akan diuji dipotong dengan ukuran 8 x 8mm. Kemudian sampel dibersihkan dengan *isopropyl alcohol*, setelah dibersihkan diletakkan pada alat uji SEM dan difokuskan ke permukaan dengan pembesaran sampai 5000 kali sehingga diperoleh gambar dari permukaan yang dilapisi. Hal yang sama dilakukan untuk melihat sisi samping. Cara menganalisa hasil pengujian SEM dengan melihat kerapatan struktur mikro dari pelapisan dan dari sisi samping dilihat apakah pelapis terdifusi atau tidak.

2.2.2 Uji *struktur makro*

Mikroskop (bahasa Yunani: *micros* = kecil dan *scopein* = melihat) adalah sebuah alat untuk melihat objek yang terlalu kecil untuk dilihat dengan mata kasar. Ilmu yang mempelajari benda kecil dengan menggunakan alat ini disebut mikroskopi, dan kata mikroskopik berarti sangat kecil, tidak mudah terlihat oleh mata. Jenis paling umum dari mikroskop, dan yang pertama diciptakan, adalah mikroskop optis. Mikroskop ini merupakan alat optik yang terdiri dari satu atau lebih lensa yang memproduksi gambar yang diperbesar dari sebuah benda yang ditaruh dibidang fokal dari lensa tersebut. Berdasarkan sumber cahayanya, mikroskop dibagi menjadi dua, yaitu, mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.

Mikroskop cahaya sendiri dibagi lagi menjadi dua kelompok besar, yaitu berdasarkan kegiatan pengamatan dan kerumitan kegiatan pengamatan yang dilakukan. Berdasarkan kegiatan pengamatannya, mikroskop cahaya dibedakan menjadi mikroskop diseksi untuk mengamati bagian permukaan dan mikroskop monokuler dan binokuler untuk mengamati bagian dalam sel (anonim, 2011). Mikroskop adalah alat utama dalam mempelajari struktur benda-benda kecil. Mikroskop optik dapat dibagi atas 2, yaitu mikroskop Biologi (monokuler) dan mikroskop stereo (*Binokuler*) (Suripto, 1994). Mikroskop biologi adalah mikroskop yang digunakan pengamatan benda tipis transparan. Penyinaran dilakukan dari bawah dengan sinar alam atau lampu (Amin, 1994). Mikroskop binokuler adalah mikroskop yang digunakan untuk pengamatan benda-benda yang tidak terlalu besar, transparan atau tidak. Penyinaran dapat diatur dari atas maupun dari bawah dengan sinar alam atau lampu. Penggunaan mikroskop disini digunakan untuk menguji struktur makro pada sisi samping spesimen dengan melihat *interface* permukaan dan lapisan terjadi difusi atau tidak.

2.2.3 Uji adhesive atau kerekatan

Adhesi adalah kecenderungan partikel atau permukaan yang berbeda untuk melekat satu sama lain sedangkan kohesi mengacu pada kecenderungan partikel atau permukaan yang serupa atau sama saling melekat satu sama lain (Kendall, 1994). Beberapa bahan dapat bergabung pada sendi dengan difusi, hal ini dapat terjadi ketika molekul kedua bahan tersebut bergerak dan larut satu sama lain, seperti ketika serbuk logam atau keramik ditekan bersama dan dipanaskan, atom membaaur dari satu partikel ke partikel berikutnya kemudian bergabung dengan partikel menjadi satu (Maeda, 2002). Uji kerekatan ini menggunakan standar ASTM D 3395-09 *Measurement adhesion by tape test*. Metode test ini menggunakan metode metode *cross cut tape*, metode ini membuat goresan secara *cross* sampai pada permukaan logam, kemudian menempelkan *adhesive tape test* dengan standar minimal daya adhesi $40 \pm 2,8$ g/mm. Setelah adhesive test tape di angkat, permukaan dianalisis sesuai dengan standar yang telah ditentukan sesuai dengan ASTM D 3395-09. Tahap proses pengujian berdasarkan ASTM D 3395-09 adalah dengan membersihkan permukaan spesimen dengan disemprot menggunakan kompresor untuk menghilangkan debunya. Lakukan pengukuran pada bidang yang dilapisi dengan

ukuran kotak 2 x 2mm. Gores hasil pengukuran dengan pisau sampai pada bagian substrat berdasarkan ukuran yang ditentukan dengan banyak kotak 6 x 6 kotak. Jika menggunakan pisau khusus uji kerekatan bisa langsung terbentuk tanpa pengukuran. Setelah itu tempelkan *adhesive tape* jenis 3M untuk menguji kerekatan kemudian tekan dengan penghapus agar merata melekatnya. Setelah itu tarik *adhesive tape* dan lihat bagian yang terkelupas. Kemudian prosentase lapisan yang terkelupas bandingkan dengan panduan berdasarkan ASTM 3395-09. Cara menganalisanya dari berbagai ketebalan lapisan, lapisan manakah yang paling kuat tingkat kerekatannya dan lihat penyebabnya berdasarkan hasil uji SEM sebelumnya.

2.2.4 Uji konduktifitas *thermal*

Proses dimana sesuatu yang dipindahkan diantara sebuah sistem dan sekelilingnya akibat perbedaan temperatur ini berlangsung disebut kalor, perpindahan kalor pada umumnya terjadi dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Zeemansky dkk, 1986). Konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadi persinggungan fisik atau menempel tanpa terjadinya perpindahan molekul – molekul dari benda padat itu sendiri (Incropera dkk, 1981). Konduktifitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas atau *thermal* (Isaacs, 1994).

Pengujian konduktifitas *thermal* ini menggunakan standar ASTM C 177-1997 menggunakan *less method*. Pengujian ini dengan cara memanfaatkan panas pada permukaan atas secara menyeluruh, kemudian sisi atas dan bawah dipasang termometer atau alat *thermokopel*. Sehingga diperoleh perbedaan suhu atas dan suhu bawah antara plat yang dilapisi dan yang tidak dilapisi. Tahap proses pengujian konduktifitas panas dengan cara membersihkan terlebih dahulu spesimen dengan disemprot menggunakan kompresor untuk membersihkan dari debu. Oleskan pelumas kebidang spesimen agar kontak panas lebih baik.

Tempatkan ujung alat ukur pada sisi yang dilapisi dan bagian sisi yang tidak dilapisi. Catat hasil suhu hasil pengukuran pada sisi yang dilapisi dan sisi yang tidak dilapisi. Cara menganalisa dari data hasil pengujian perbedaan suhu yang paling besar pada spesimen dengan ketebalan berapa dan lihat penyebabnya berdasarkan uji SEM dan kerekatan.