

## STUDI BANDING PELAPISAN MATERIAL SKD11 DENGAN METODE *PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION* DAN *THERMAL DIFUSION* PADA KOMPONEN *INSERT DIES* MESIN STAMPING PRESS

**Robertus Suryo Bisono**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: obtsuryo@gmail.com

**Abstrak** -- Telah dilakukan pelapisan menggunakan Titanium Aluminium Nitrid (TiAlN) dengan metode PVD Coating (*Physical Vapour Diposition*) dan TD (*Thermal Difusion*) untuk perlakuan permukaan baja perkakas SKD11 sebagai material Insert Die komponen mesin Stamping Press setelah perlakuan *hardening*. Perlakuan permukaan dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas permukaan khususnya kekerasan dan perubahan struktur mikro yang terjadi. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari perlakuan permukaan tersebut dilakukan dengan memvariasi waktu proses, masing masing 2 sample diproses pada 4 jam, 5 jam dan 6 jam dengan temperatur proses masing-masing 400° C. Kemudian satu dari tiap variable sample tersebut di panaskan pada suhu 1000° C selama 1 jam, pendinginan dilakukan dengan udara bebas tanpa proses *quenching* Untuk mengetahui hasilnya dilakukan uji kekerasan mikro Vickers, pengamatan struktur mikro Scanning Electron Microscope (SEM), dan pengujian komposisi dengan Energy Defersif Sepectroscopy (EDS) untuk mengetahui tingkat penyerapan material terdifusi. Hasil menunjukan bahwa SKD11 yang dilapisi TiAlN dengan metode PVD selama 6 jam menghasilkan lapisan yang paling keras yaitu 1363 HV dengan ketebalan lapisan 5,3µm. Proses pemanasan 1000°C selama 1 jam pada sample mengakibatkan penurunan kekerasan sample dan lapisan permukaan sample menjadi lebih tebal hingga 50µm. Penambahan lapisan diakibatkan oleh terdifusinya atom atom yang menyusun lapisan TiAlN ke dalam substrat serta keluarnya atom atom penyusun lapisan hingga membentuk lapisan kompleks.

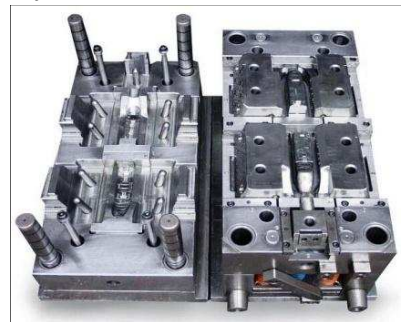
**Kata kunci:** SKD11, *physical vapour deposition*, *thermal deposition*, *stamping press*

### 1. PENDAHULUAN

*Insert dies* adalah salah satu komponen penting pada *Stamping Press Dies*, merupakan bagian yang mengalami kontak dengan material *Sheet metal*. *Stamping Press Dies* merupakan alat yang diletakkan pada mesin stamping press yang berfungsi sebagai penekan *Sheet metal* sehingga mengalami perubahan bentuk, antara lain *piercing* (pelubangan), *bending* (pembengkokan), *sharing* (pemotongan). *Sheet metal coil* dimasukkan kedalam *dies* kemudian ditekan sehingga tercapai bentuk yang diinginkan. Saat kondisi operasi komponen *Insert Dies* mengalami tumbukan dan gesekan dengan Material *Sheet Metal* dan juga bagian *Base* pada *dies*. Untuk itu diperlukan sifat ketahanan aus, kuat, tangguh, dan tidak mengalami penurunan kekerasan terhadap material SKD11 sebagai komponen *insert dies* sehingga tahan lama dan hasil stamping tetap sesuai dengan tuntutan. Untuk mengatasi kebutuhan ini, diperlukan bahan yang memiliki keefisien gesek yang rendah dan temperatur kerja yang tinggi. Setelah diproduksi menjadi komponen insert die dilakukan perlakuan *hardening* dan khususnya perlakuan permukaan (*surface treatment*).

Pada umumnya *Insert Dies* sebagai komponen Pada *Stamping press press Dies* dibentuk dari material SKD 11 dengan kekerasan hasil *hardening* adalah 48-55 HRC (600-680 HV).

Namun tuntutan terhadap kualitas dari permukaan dewasa ini tidak cukup hanya pada perlakuan *hardening* saja, untuk mengurangi gaya gesek diperlukan bahan yang memiliki permukaan yang halus dan koefisien gesek yang rendah, maka setelah diproduksi menjadi komponen insert die dilakukan proses *polish* untuk menjaga kehalusan permukaannya kemudian pada permukaannya diberikan lapisan tambahan untuk meningkatkan kualitasnya.



Gambar 1.1 Stamping Dies pada industri Otomotif

Insert dies diberi lapisan *Chromium* dengan metode *Thermal Difusion* dimana material Cr terdifusi ke dalam Substrat karena suhu yang tinggi. Dengan kemajuan teknologi untuk memperbaiki sifat mekanik permukaan logam, saat ini mulai dikembangkan metode lain dalam membentuk lapisan tipis dan memperbaiki sifat-

sifat pada permukaannya. Cara tersebut meliputi metode Desposisi material Secara Fisik atau yang biasa disebut *Physical Vapour Deposition* (PVD Coating). Dengan teknologi ini mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan teknologi perlakuan permukaan lain. Keuntungan ini diantaranya adalah: Lapisan yang terbentuk sangat tipis yaitu antara  $1\mu\text{m}$ - $8\mu\text{m}$  sehingga tidak mengubah ukuran produk, dapat dilakukan berkali kali karena tidak mengubah struktur substrat, dapat menambah kehalusan permukaan sehingga mengurangi gaya gesek yang timbul selama proses, relatif tahan pada suhu tinggi.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang di atas, perlu diuji kinerja dari lapisan Film yang didesposisikan terhadap material baja perkakas SKD11 maupun komponen insert Dies dengan material yang sama. Adapun dipilihnya material ini karena banyak digunakan sebagai komponen Insert Dies komponen mesin *Stamping Press*.

Material *SKD11* yang akan diteliti diuji komposisi kimianya di cek kesesuaiannya dengan data dari pabrik, diuji juga kekerasan makro strukturnya menggunakan alat uji rockwell, dipotong menjadi 7 *specimen* dengan menggunakan mesin potong kemudian di grinda kedua sisinya. Proses *hardening* dengan metode *Vacuum Hardening* dilakukan pada spesimen dan komponen Insert Dies dengan memanaskan sampai temperatur austenisasi ( $1030^{\circ}\text{C}$ ) secara bertahap kemudian mendinginkan dengan media gas  $\text{N}_2$  diikuti proses tempering pada temperatur  $580^{\circ}\text{C}$ , dan  $600^{\circ}\text{C}$ . Setelah di *hardening* material di cek kekerasannya.

Penandaan diberikan pada setiap *specimen*. Dari 7 sampel yang di potong hanya 6 sample yang akan diuji, 1 sample dijadikan acuan *specimen*. Penandaan terdiri dari: A (Awal), PVD4, PVD5, PVD6, dan TD4, TD 5, TD 6 yang menyatakan metode pelapisan dan waktu proses. Temperatur proses *PVD* pada *sample* adalah  $400^{\circ}\text{C}$ . Kemudian keenam sampel diproses *PVD coating* selama 4, 5 dan 6 jam.

Bahan yang telah dikeraskan ditempatkan pada pemegang *sample* sebagai katoda, kemudian pada ruangan *vacum* -8 bar ion ion Titanium dan Alumunium ditarik dan dipercepat menuju *sample* oleh pengaruh medan listrik menggunakan tegangan tinggi sehingga ion-ion positif Titanium dan Alumunium dan ion-ion positif Nitrogen yang terbentuk terdesposisi pada permukaan *sample*. Ion-ion yang terdesposisi pada permukaan *sample* selanjutnya satu dari masing masing *sample* di panaskan pada suhu  $1000$  derajat celcius selama 1 jam, diharapkan ion Titanium Alumunium terdifusi ke dalam substrat.

Setelah proses *PVD coating* dan *Thermal difusion* selesai maka samples diuji kekerasan

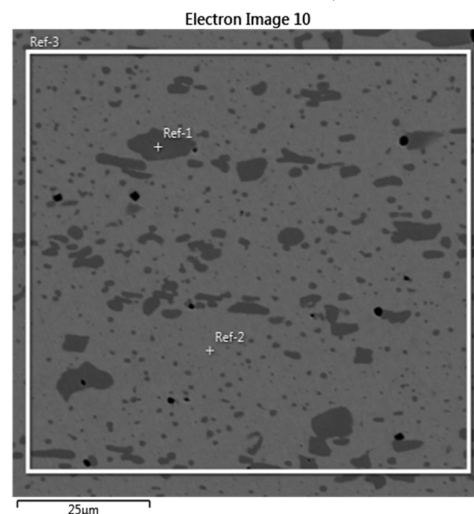
permukaannya menggunakan Pengujian kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan Vicker's. (Sudjadi, dkk: 2012) sehingga kita bisa tau pengaruh pelapisan terhadap kekerasan permukaan.

Samples kemudian di *mounting*, *grinding*, *cleaning*, *polishing*. Pengamatan mikro struktur dan ketebalan lapisan menggunakan alat *optical microscope* dan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengujian komposisi kimia di dalam *matrix* menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).

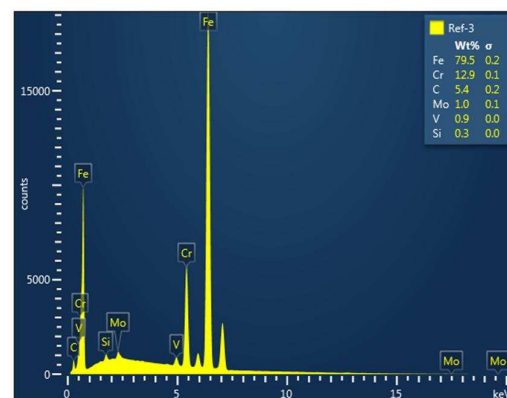
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil Uji komposisi dengan menggunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), material yang dikeluarkan PT Astra Daido Steel dengan kode DC11 pada tanggal 14 – 11 - 2016, sumber material SKD11 atau Daido DC 11 yang peneliti peroleh memiliki spesifikasi sebagai berikut:

C 5.4 – Si 0.30 – Mo 1.0 – Cr 12,9 – V 0.9



Gambar 3.1 Foto Area penelitian uji komposisi material awal SKD11



Gambar 3.2 Hasil Uji Komposisi material SKD11 Awal dengan mesin EDS

### a) Pengujian kekerasan Specimen SKD11

Pengujian kekerasan dilakukan dengan teknik Vickers pada mesin mikro Vickers AKASHI MVK-E load (g) 10 - 1000. Besarnya pembebanan adalah 300g. Pengujian Vickers dilakukan pada masing-masing sampel uji setelah di hardening menggunakan vacuum hardening dan di Tempering untuk mengurangi tegangannya.

Pengujian kekerasan dengan teknik Vickers untuk sampel uji awal (A) SKD11 setelah proses hardening beban penjeakan 300gram seperti ditunjukkan pada Table 3.1

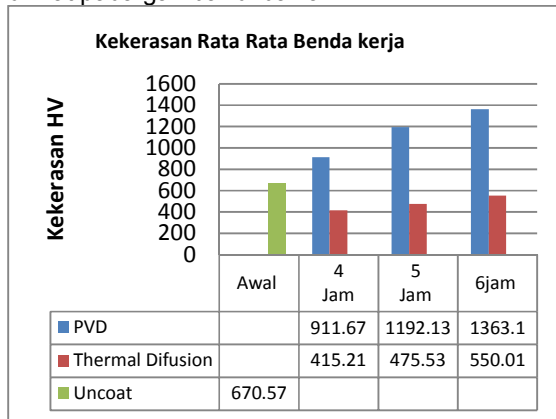
Tabel 3.1 Hasil pengukuran kekerasan sampel uji SKD11 setelah proses Hardening

No	d (mm)	Hardness (HV 300g)
1	28,5	684.74
2	29	661.36
3	29	661.36
4	28,5	684,74
5	29	661.36
Average	<b>28,8</b>	<b>670.57</b>

Perhitungan HV dengan rumus dasar

$$HV = \frac{1.854 \times P \times 1000}{d^2} \text{ kgf/mm}^2$$

Perbandingan kekerasan rata-rata dari masing-masing sample dari masing-masing proses dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

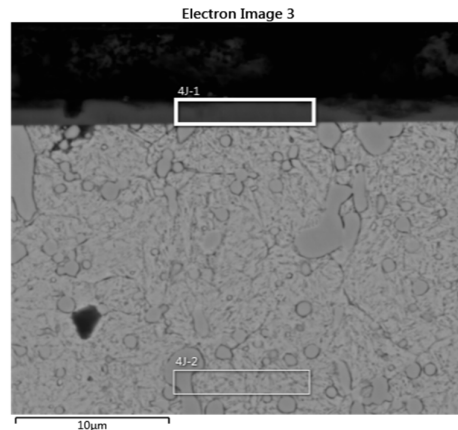


Gambar 3.3 Grafik kekerasan Vickers rata rata

Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses PVD mempengaruhi kekerasan permukaan benda kerja, semakin lama proses maka semakin keras juga permukaan benda kerja pada titik lapisan yang sama. Akan tetapi, kekerasan permukaan menurun ketika benda yang telah *dicoating*, dipanaskan hingga 1000 derajat celsius selama 1 jam. Hal ini dikarenakan struktur substrat yang mengalami normalising, proses pembakaran meningkatkan jumlah matrix ferit dan mengubah sebagian matrix austenit menjadi ferit (Van Vlack, 1985).

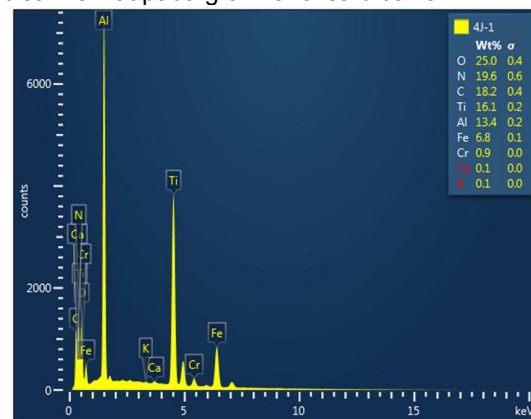
### b) Hasil SEM-EDS Sample PVD4

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil penginderaan menggunakan Scanning Electron Microscope pada sample PVD4 dengan perbesaran sebanyak 10.000 kali.



Gambar 3.4 Hasil Penginderaan SEM PVD4 perbesaran 10.000 kali

Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas lapisan TiAlN yang terbentuk ketebalannya diperkiraan 2 mikron dengan homogenitas ketebalan yang cukup baik, terlihat bahwa lapisan TiAlN tersebut terpisah dari substrat SKD 11 yang ada dibawahnya dan tidak terdifusi kedalam. Untuk mengetahui konsentrasi unsur pada lapisan TiAlN dan lapisan Substrat inti, kita bisa melihat pada grafik analisa dibawah ini



Gambar 3.5 Grafik analisis kualitatif lapisan TiAlN pada sample PVD4

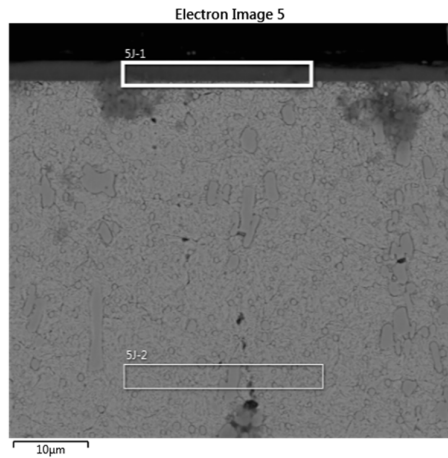
Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah diproses PVD pada temperature 400°C selama 4 jam Substrat SKD11 terlapis secara homogen dengan ketebalan +/- 2 micron, lapisan PVD memiliki 3 unsur dominan yaitu kandungan nitrogen sebesar 19.6% massa, Titanium 16.1% massa dan Aluminium 13.4%. Munculnya atom O dalam data EDS disebabkan oleh adanya oksigen yang terperangkap di dalam ruang nitridasi pada saat proses PVD berlangsung. Senyawa – senyawa lain yang

mungkin terbentuk adalah Cr<sub>2</sub>N sehingga pada EDS data unsur Cr terdeteksi (Sujadi, Sujitno, & Suprpto, 2012).

Sementara pada analisa substrat tidak terdapat Atom Titanium, Alumunium dan Nitrogen sama sekali. Unsur yang ada pada Substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. membuktikan bahwa atomatom tersebut tidak terdifusi kedalam substrat.

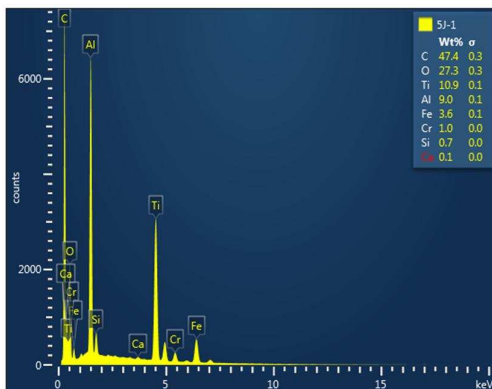
**c) Hasil SEM-EDS Sample PVD5**

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengindraan menggunakan Scaning Electron Microscope pada sample PVD4 dengan perbesaran sebanyak 10.000 kali.



Gambar 3.6 Hasil Pengindraan SEM PVD5 perbesaran 10.000 kali

Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas lapisan TiAlN yang terbentuk ketebalannya diperkiraan 3,3 mikron dengan homogenitas ketebalan yang cukup baik, terlihat bahwa lapisan TiAlN tersebut terpisah dari substrat SKD 11 yang ada dibawahnya dan tidak terdifusi kedalam. Untuk mengetahui konsentrasi unsur pada lapisan TiAlN dan lapisan substrat inti, kita bisa melihat pada grafik analisa di bawah ini.



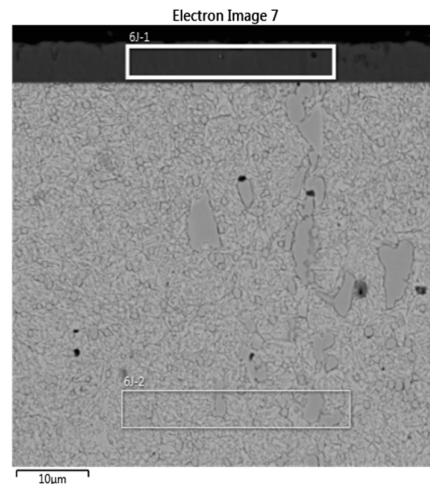
Gambar 3.7 Grafik analisis kualitatif lapisan TiAlN pada sampel PVD5

Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah diproses PVD pada temperature 400°C selama 5 jam Substrat SKD11 terlapis secara homogen dengan ketebalan +/- 3.3 micron, lapisan PVD memiliki unsur dominan yaitu kandungan Carbon sebesar 47,4% massa, Titanium 10,9% massa dan Alumunium 9 %. Munculnya atom O dalam data EDS disebabkan oleh adanya oksigen yang terperangkap di dalam ruang nitridasi pada saat proses PVD berlangsung. Senyawa – senyawa lain yang mungkin terbentuk adalah Cr<sub>2</sub>N, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> sehingga pada EDS data unsur Cr dan Si terdeteksi.

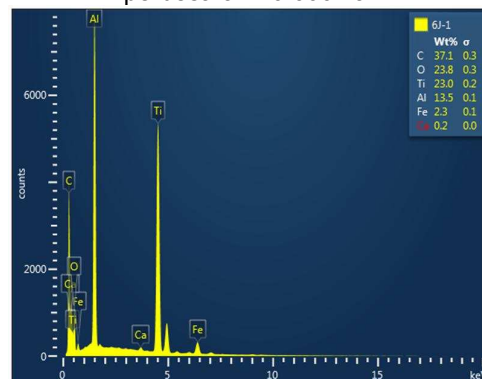
Sementara pada analisa substrat tidak terdapat Atom Titanium, Alumunium dan Nitrogen sama sekali. Unsur yang ada pada substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. membuktikan bahwa atomatom tersebut tidak terdifusi ke dalam substrat.

**d) Hasil SEM-EDS Sample PVD6**

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil pengindraan menggunakan Scaning Electron Microscope pada sample PVD6 dengan perbesaran sebanyak 10.000 kali.



Gambar 3.8 Hasil Pengindraan SEM PVD6 perbesaran 10.000 kali



Gambar 3.9 Grafik analisis kualitatif lapisan TiAlN pada sampel PVD6

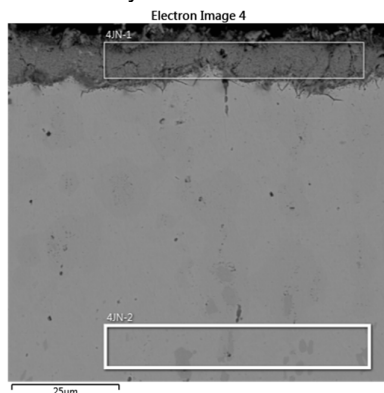
Pada Gambar 3.8 tersebut terlihat dengan jelas lapisan TiAlN yang terbentuk ketebalannya diperkirakan 5,3 mikron dengan homogenitas ketebalan yang cukup baik, terlihat bahwa lapisan TiAlN tersebut terpisah dari substrat SKD 11 yang ada dibawahnya dan tidak terdifusi kedalam. Untuk mengetahui konsentrasi unsur pada lapisan TiAlN dan lapisan substrat inti, kita bisa melihat pada grafik analisa pada Gambar 3.9.

Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah diproses PVD pada temperature 400°C selama 6 jam Substrat SKD11 terlapis secara homogen dengan ketebalan +/- 5.3 micron, lapisan PVD memiliki unsur dominan yaitu kandungan Carbon sebesar 37.1% massa, Titanium 23% massa dan Alumunium 13.5%. Munculnya atom O dalam data EDS disebabkan oleh adanya oksigen yang terperangkap di dalam ruang nitridasi pada saat proses PVD berlangsung. Senyawa – senyawa lain yang mungkin terbentuk adalah  $Cr_2N$ ,  $Al_2O_3$  sehingga pada EDS data unsur Cr terdeteksi.

Sementara pada analisa substrat tidak terdapat Atom Titanium, Alumunium dan Nitrogen sama sekali. Unsur yang ada pada Substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. membuktikan bahwa atomatom tersebut tidak terdifusi kedalam substrat (Sujadi, Sujitno, & Suprpto, 2012).

#### e) Hasil SEM-EDS Sample TD4

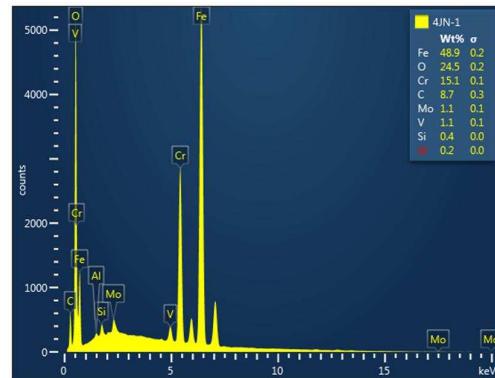
Gambar dibawah ini menunjukkan hasil penginderaan menggunakan Scaning Electron Microscope pada sample TD4 dengan perbesaran sebanyak 3.000 kali.



Gambar 3.10 Hasil Penginderaan SEM TD4 perbesaran 3,000 kali

Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas terdapat lapisan yang terbentuk namun lapisan tidak homogen ketebalannya diperkiraan antara 10 - 15 mikron, terlihat bahwa lapisan tersebut menebal dan terdifusi masuk ke dalam substrat SKD 11, selain lapisan yang awalnya TiAlN itu terdifusi juga terlihat lapisan substrat yang bergerak keluar. Untuk mengetahui konsentasi unsur pada lapisan tersebut dan lapisan Substrat

inti, kita bisa melihat pada grafik analisa di bawah ini.



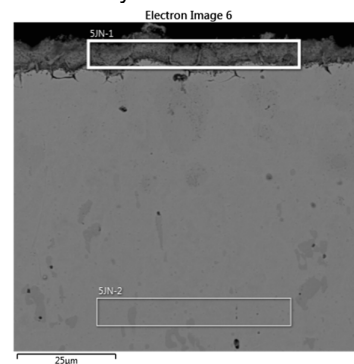
Gambar 3.11 Grafik analisis kualitatif lapisan permukaan pada sample TD4

Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah spesimen diproses TD pada temperatur 1000°C selama 1 jam substrat SKD11 lapisan yang terbentuk tidak lagi homogen dengan ketebalan 10- 15 mikron, lapisan TD pada Sample TD4 memiliki unsur dominan yaitu Besi sebesar 48,9% massa, dan Cr sebesar 15,1 % terdapat unsur Oksigen yang timbul dari oksidasi karena kontak dengan udara bebas, pemanasan tidak dilakukan pada ruang vacum. Unsur Ti yang semula ada di permukaan menjadi tidak terlihat, terdapat 2 kemungkinan yaitu unsur Ti mengalami out difusion atau pair dengan unsur lain seperti Alumunium menjadi unsur kompleks yang tidak terbaca.

Sementara unsur yang ada pada substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. Proses pemanasan tidak mempengaruhi unsur yang ada di dalam hanya mempengaruhi pola susunannya sehingga kekerasan material menurun.

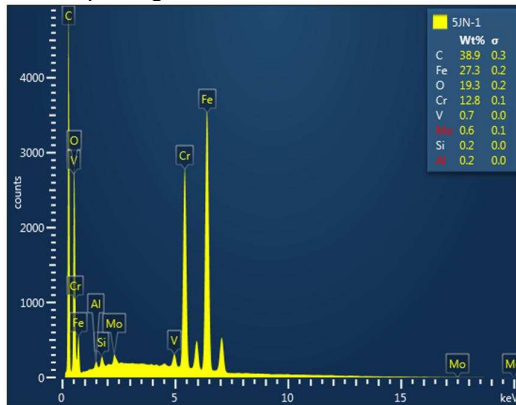
#### f) Hasil SEM-EDS Sample TD5

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil penginderaan menggunakan Scaning Electron Microscope pada sample TD5 dengan perbesaran sebanyak 3.000 kali.



Gambar 3.12 Hasil Penginderaan SEM TD5 perbesaran 3.000 kali

Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas terdapat lapisan yang terbentuk namun lapisan tidak homogen ketebalannya diperkiraan antara 10 - 15 mikron, ketebalan lapisan tidak berbeda dengan sample TD5. seperti sample sebelumnya terlihat bahwa lapisan tersebut menebal dan terdifusi masuk kedalam substrat SKD 11, selain lapisan yang awalnya TiAlN itu terdifusi juga terlihat lapisan substrat yang bergerak keluar. Untuk mengetahui konsentasi unsur pada lapisan tersebut dan lapisan Substrat inti, kita bisa melihat pada grafik analisa di bawah ini.



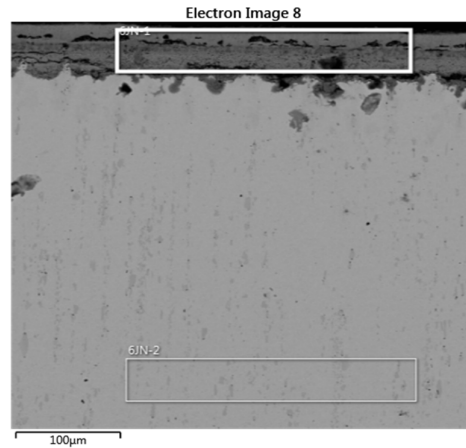
Gambar 3.13 Grafik analisis kualitatif lapisan permukaan pada sample TD5

Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah spesimen diproses TD pada temperature 1000°C selama 1 jam Substrat SKD11 lapisan yang terbentuk tidak lagi homogen dengan ketebalan 10- 15 micron, lapisan TD pada Sample TD5 memiliki unsur dominan yaitu Karbon sebesar 38,9% massa, Fe sebesar 27,3 % massa dan Cr sebesar 12,8 % terdapat unsur Oksigen yang timbul dari oksidasi karena kontak dengan udara bebas, pemanasan tidak dilakukan pada ruang vacum. Lapisan TD pada TD 5 terdapat banyak sekali unsur C kemungkinan atom c yang bebas di udara terdifusi masuk namun tidak merata di seluruh area (tidak homogen) Unsur Ti yang semula ada di permukaan menjadi tidak terlihat, terdapat 2 kemungkinan yaitu insur Ti mengalami out difusion atau pair dengan unsur lain seperti Carbon, Alumunium atau oksigen menjadi unsur kompleks yang tidak terbaca.

Sementara unsur yang ada pada substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. Proses pemanasan tidak mempengaruhi unsur yang ada di dalam hanya mempengaruhi pola susunannya sehingga kekerasan material menurun.

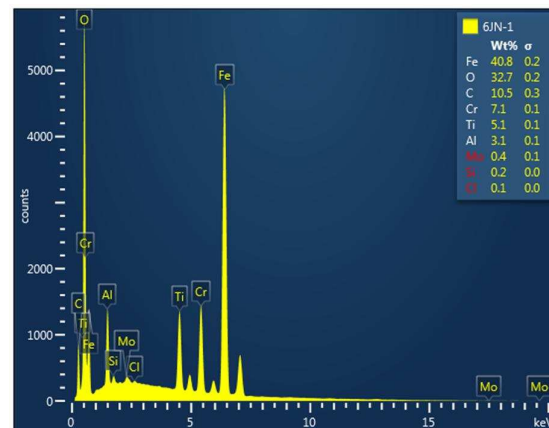
**g) Hasil SEM-EDS Sample TD6**

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil penginderaan menggunakan Scaning Electron Microscope pada sample TD5 dengan perbesaran sebanyak 1.000 kali.



Gambar 3.14 Hasil Penginderaan SEM TD6 perbesaran 1.000 kali

Pada gambar tersebut terlihat dengan jelas terdapat lapisan yang terbentuk namun lapisan tidak homogen ketebalannya diperkiraan antara 30 - 45 mikron, berbeda dengan 2 sample sebelumnya lapisan TD yang terbentuk jauh lebih tebal .seperti sample sebelumnya terlihat bahwa lapisan tersebut menebal dan terdifusi masuk kedalam substrat SKD 11, selain lapisan yang awalnya TiAlN itu terdifusi juga terlihat lapisan substrat yang bergerak keluar. Untuk mengetahui konsentasi unsur pada lapisan tersebut dan lapisan Substrat inti, kita bisa melihat pada grafik analisa dibawah ini :



Gambar 3.15 Grafik analisis kualitatif lapisan permukaan pada sample TD6

Dari hasil pengujian diperoleh fakta bahwa untuk setelah Specimen diproses TD pada temperature 1000°C selama 1 jam Substrat SKD11 lapisan yang terbentuk tidak lagi homogen dengan ketebalan 30- 45 micron, lapisan TD pada Sample TD5 memiliki unsur dominan yaitu Besi (Fe) sebesar 40,8% Carbon sebesar 10,5% massa, dan Cr sebesar 7,1 % terdapat unsur Oksigen yang timbul dari oksidasi karena kontak dengan udara bebas, pemanasan tidak dilakukan pada ruang vacum. Lapisan TD

pada TD 6 terdapat banyak sekali unsur C kemungkinan atom c yang bebas di udara terdifusi masuk namun tidak merata di seluruh area( tidak homogen).berbeda dengan sample sebelumnya Unsur Ti masih ada pada lapisan sebesar 5,1% massa, ada 2 kemungkinan menurunnya konsentrasi TI yaitu insur Ti mengalami out diffusion atau pair dengan unsur lain seperti Carbon, Alumunium atau oksigen menjadi unsur kompleks yang tidak terbaca. Akan tetapi karena Ti yang ada di permukaan PVD6 cukup banyak maka tidak seluruh unsur Ti mengalami out diffusion atau tersubstitusi menjadi unsur kompleks.

Sementara Unsur yang ada pada Substrat SKD11 mirip dengan material SKD11 awal. Proses pemanasan tidak mempengaruhi unsur yang ada di dalam hanya mempengaruhi pola susunannya sehingga kekerasan material menurun.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

- 1) Proses PVD menghasilkan lapisan tipis yang homogen dengan ketebalan yang relatif sama di seluruh permukaan substrat.
- 2) Terbentuknya lapisan TiAl yang terbaik pada SKD11 adalah pada saat proses PVD coating temperature 400°C selama 6 jam dengan konsentrasi Titanium yang diperoleh adalah 23% massa dan konsentrasi Alumunium 13,5 % massa, dengan lapisan TiAl yang homogen setebal 5,3 mikron.
- 3) Pengujian kekerasan Vickers PVD pada temperatur 400°C selama 6jam mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan spesimen yang lain yaitu sebesar VHN 1.363,1  $kgf/mm^2$  dengan ketebalan 5,3 $\mu m$ .
- 4) Adanya proses pemanasan sebesar 1000 C selama 1 jam mengakibatkan menebalnya lapisan permukaan dari specimen. Lapisan yang awalnya kurang dari 10  $\mu m$  menebal secara tidak homogen hingga ketebalan 50  $\mu m$ .
- 5) Penebalan lapisan permukaan disebabkan oleh bergeraknya atom atom penyusun dari lapisan TiAl yang ada pada proses sebelumnya yang terdifusi masuk kedalam Substrat, atom atom yang ada di substrat juga sebagian bergerak keluar sehingga beberapa atom Fe dan Cr terdeteksi di lapisan TD.
- 6) Sebagian atom Ti keluar dari material (outdiffusion) atau terikat dengan oksigen

menjadi atom kompleks yang tidak terbaca oleh EDS. Terlihat dari konsentrasi atom Ti dan Al yang menurun drastis pada pengindraan menggunakan EDS.

- 7) Pengaruh PVD Coating terbukti bisa meningkatkan kualitas permukaan bahan SKD11 khususnya kekerasan permukaan, sementara metode pemanasan tambahan 1000 C selama 1 jam mengurangi tingkat kekerasan tidak hanya permukaan melainkan seluruh Specimen.
- 8) Pengamatan metalografi SEM-EDS menunjukkan bahwa Waktu proses PVD mempengaruhi terhadap konsentrasi dan ketebalan lapisan TiAl yang terbentuk yang ada dalam bahan SKD11.

##### 4.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan kajian yang lebih dalam tentang bagaimana cara material dapat terdifusi kedalam Substrat. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian mengenai kemungkinan lapisan yang timbul karena PVD menjadi senyawa kompleks.

##### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amstead, B. (1995). Teknologi Mekanik jilid 1 versi S1. Jakarta: Erlangga.
- [2]. Callister, W. D. (1997). Material Science and Enggining an Introduction.
- [3]. Koswara, E. (1999). Pengujian Bahan Logam. Bandung: Humaniora Utama Press.
- [4]. Schonmetz, A., & Gruber, K. (1985). Pengetahuan Bahan dalam pengerjaan Logam. Bandung: Angkasa.
- [5]. Smallman, R. (1999). Metalurgi Fisik Edisi Kelima. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [6]. Smallman, R. (1991). Metalurgy Fisik Edisi Keempat. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [7]. Sujadi, U., Sujitno, T., & Suprpto. (2012). Penelitian kekerasan Permukaan pada Bahan Stainless Steel 316L Dengan ALat RF-Plasma Nitrocarburizing , 50-119.
- [8]. Suprpto. (2010). Pengaruh Nidtridasi Plasma terhadap Kekerasan ANSI 304.
- [9]. Surdia, T., & S, S. (2000). Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan Kelima. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [10]. Totten, G., Bates, C., & Clinston, N. (1993). Handbook of Tuenchhantsand Quenching Technology. USA: ASM International .
- [11]. Van Vlack, L. (1985). Elements of Material Science and Engineering 5th.