

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan tugas akhir ini dilakukan beberapa analisa dan pembahasan yaitu analisis dan pembahasan proses *thermal spray* yang meliputi hasil *surface treatment* dan kemudian hasil variabel proses *thermal arc spray*. Selanjutnya dilanjutkan analisis dan pembahasan sifat mekaniknya yang didapatkan dalam pengujian kekuatan lekat, pengujian kekerasan dan pengujian keausan.

#### 4.1. Pembahasan Dan Analisa Proses *Thermal Spray*

##### 4.1.1. Hasil *Surface Treatment*

Dalam aplikasi *thermal spray coating* terdapat standart tertentu sebelum dilakukan pengaplikasian yaitu melakukan preparasi terhadap permukaan substrat. Pertama permukaan substrat dilakukan pembersihan dengan menggunakan alkohol atau thinner. Untuk menghilangkan polutan berupa minyak cat dan senyawa organik lainnya. Kemudian dikeringkan dan selanjutnya proses grit blasting. Proses grit blasting menggunakan mesin *airblast* dan menggunakan pasir silica sebagai partikel untuk memberi kekasaran permukaan. Cara kerjanya yaitu katup pengatur pengeluaran pasir yang berada pada mesin *airblast* dibuka dan kemudian katup pengatur tekanan juga dibuka, menyebabkan pasir terdorong oleh

udara bertekanan tinggi dan pasir bertekanan udara tinggi tersebut mengikis permukaan material sehingga terbentuk profil kekasaran.



**Gambar 4.1.** Spesimen sebelum grit blasting (kanan) dan spesimen setelah grit blasting beserta standart A Sa 3 (kiri).

Sebelum proses grit blasting pengamatan secara visual dilakukan terhadap permukaan substrat yang akan diaplikasikan grit blasting. Dengan standart ISO 8501 – 1:1988 substrat berada pada tipe A, dimana pada tipe A ini permukaan substrat dalam kondisi bagus tanpa karat, cat sebelumnya, grease. Oli dan mil scale. Setelah proses grit blasting dengan menggunakan pasir silika didapatkan hasil tipe blasting adalah A.Sa 3 artinya permukaan substrat yang sebelum grit blasting berada pada tipe A dan setelah grit blasting berada pada tipe A Sa3 seperti ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4.2.** Hasil pengukuran kekasaran spesimen dengan alat elcometer.

Pengukuran kekerasan specimen dilakukan sebelum dan sesudah blasting. Sebelum proses grit blasting diperoleh kekasaran specimen berkisar 50 – 70 micronmeter. Dan setelah dilakukan proses grit blasting diperoleh kekasaran spesimen rata-rata 110 – 150 micronmeter. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah dilakukan grit blasting kekasaran permukaan meningkat. Semakin kasar permukaan mengakibatkan ikatan mechanical interlocking yang terbentuk semakin meningkat (Pawlowski, 2008).

#### **4.1.2. Hasil Variable Proses Thermal Arc Spray**

Proses pelapisan thermal spray terhadap substrat baja ST60 menggunakan method thermal arc spray. Proses pelapisan pertama dilakukan dengan menggunakan wire dengan merk dagang Metco 405NS. Didepositkan diatas permukaan substrat dengan tekanan 3 bar dan 5 bar pada substrat yang berbeda. Lapisan ini bertindak sebagai

lapisan *bond coat* atau lapisan pertama. Selanjutnya wire dengan merk dagang metcoloy 2 didepositkan dengan tekanan udara 3 bar diatas lapisan metco 405NS tekanan 3 bar. Masih menggunakan *wire* dengan merk dagang metcoloy 2 tetapi dengan tekanan 5 bar didepositkan diatas lapisan metco 405NS tekanan 5 bar.

Selanjutnya yaitu proses baru dengan menggunakan *wire* dengan merk dagang Tafa 75 B didepositkan diatas permukaan substrat dengan tekanan gas 3 bar dan 5 bar pada material pada material yang berbeda. Lapisan ini bertidak sebagai *bond coat* atau lapisan pertama. Selanjutnya menggunakan wire dengan merk dagang Tafa 97 MXC didepositkan dengan tekanan gas 3 bar diatas lapisan Tafa 75 b tekanan 3 bar, masih menggunakan wire dengan merk dagang Tafa 97 MXC tetapi dengan tekanan 5 bar didepositkan diatas lapisan Tafa 75 b tekanan 5 bar.



**Gambar 4.3.** Hasil proses *thermal spray* variabel tekanan udara 3 dan 5 bar, Metco sebelah kiri dan Tafa sebelah kanan.

Pengamatan secara visual dilakukan dengan melihat perbandingan kekasaran antara spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur

paduan Ni80%Al (*bond coat*) dan unsur paduan FeCrMnNiSi (*top coat*) yang disebut Metco dengan spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) dan unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) yang disebut Tafa dengan hasil yang didapat yaitu memiliki kekasaran yang sama, perbedaan kekasaran justru terlihat pada perbandingan perbedaan tekanan udara seperti terlihat pada gambar 4.4. dan 4.5.



**Gambar 4.4.** Spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) dan unsur paduan FeCrMnNiSi (*top coat*) dengan tekanan 5 bar sebelah kiri dan 3 bar sebelah kanan.



**Gambar 4.5.** spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) dan unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*)

Pada hasil proses pelapisan terjadi perbedaan kekasaran sampel dengan tekanan paling rendah memiliki kekasaran tinggi dan semakin rendah tingkat kekasaran di setiap peningkatan tekanan udara. Perubahan kekasaran tersebut dapat disebabkan perubahan fasa akibat perbedaan tekanan udara.

Menurut Fitrianova, (2014) peningkatnya tekanan gas mengurangi porositas pada lapisan *coating*, hal ini disebabkan semakin bertambahnya tekanan udara mempercepat kecepatan lelehan partikel yang lebih kecil ke permukaan substrat.

Dengan demikian peningkatan tekanan udara akan berpengaruh pada ukuran partikel yang biasa disebut splat. Dimana semakin meningkat tekanan udara ukuran splat semakin kecil atau melebur sempurna yang menyebabkan ikatan mekanik antar splat semakin baik dan tingkat kekasaran menurun.

## 4.2. Pembahasan dan Analisa Hasil Pengujian Kekuatan Lekat

Pengujian kekuatan lekat sering disebut juga dengan *pull off test*. *Pull off test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan lekat antara material substrat dan hasil *coating* sesuai dengan ASTM D – 4541. Pengujian dilakukan dengan penempelan pin atau yang sering disebut dengan *dolly* ke permukaan spesimen dan menggunakan lem untuk media perekatnya serta membutuhkan waktu satu hari untuk proses pengeringan. Selanjutnya proses penarikan pin terhadap spesimen menggunakan alat PosiTest AT-M. Hasil *pull off test* diambil dari rata-rata 3 sampel pada setiap variable yang berbeda.

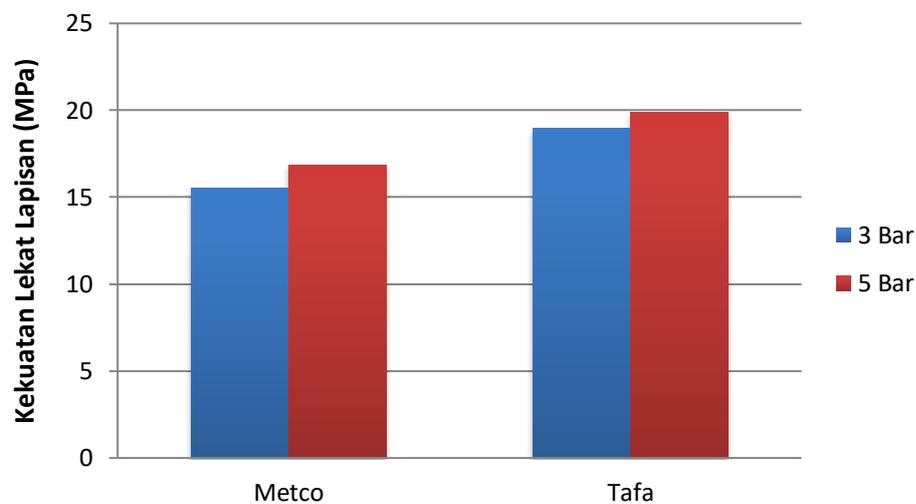


**Gambar 4.5.** Penempelan dolly/pin (gambar kiri) dan alat PosiTest AT-M

Pada pengujian pull off ini terdapat 2 kombinasi yang memiliki unsur paduan lapisan berbeda – beda. Kombinasi pertama yaitu terdiri dari unsur paduan Ni80%Al yang bertindak sebagai *bond coat* serta unsur paduan FeCrMnNiCSi yang bertindak sebagai *top coat*. Kombinasi kedua yaitu terdiri dari unsur paduan Ni95%Al yang bertindak sebagai *bond coat* serta

unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC yang bertindak sebagai *top coat*. Pada gambar 4.6. menunjukkan grafik hasil kekuatan lekat lapisan *coating* dan substrat pada masing-masing spesimen.

Dari hasil pengujian tersebut diperoleh hasil kekuatan lekat paling rendah yaitu spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) dan FeCrMnNiCSi (*top coat*) dengan nilai 15,52 Mpa. Dan hasil kekuatan lekat paling tinggi diperoleh spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) dan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) dengan nilai 19.81 Mpa

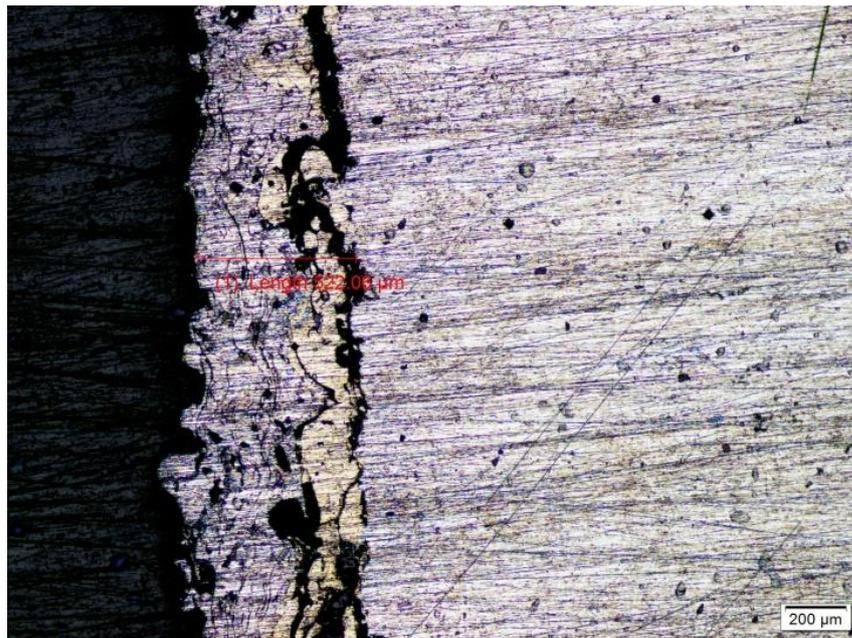
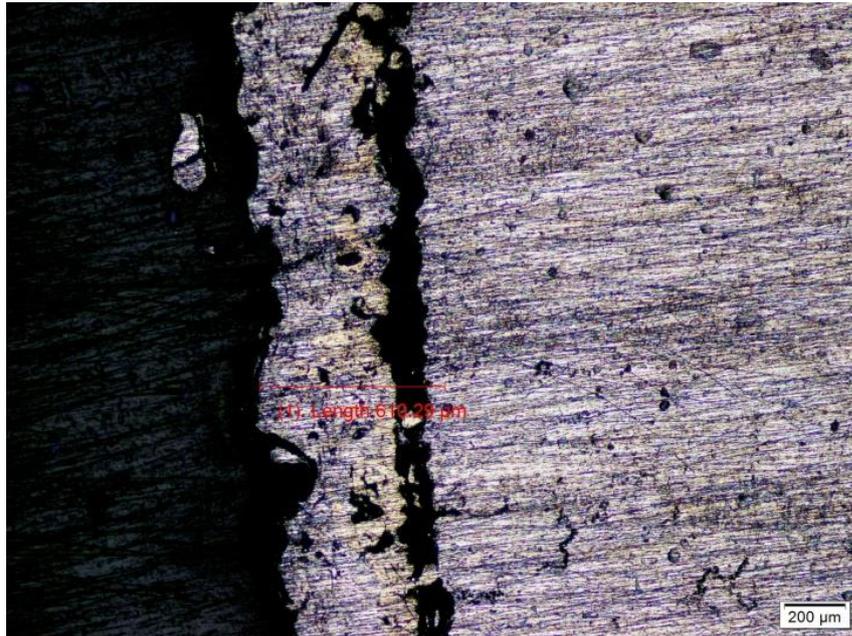


**Gambar 4.6.** Diagram batang kekuatan lekat lapisan dengan variable tekanan udara.

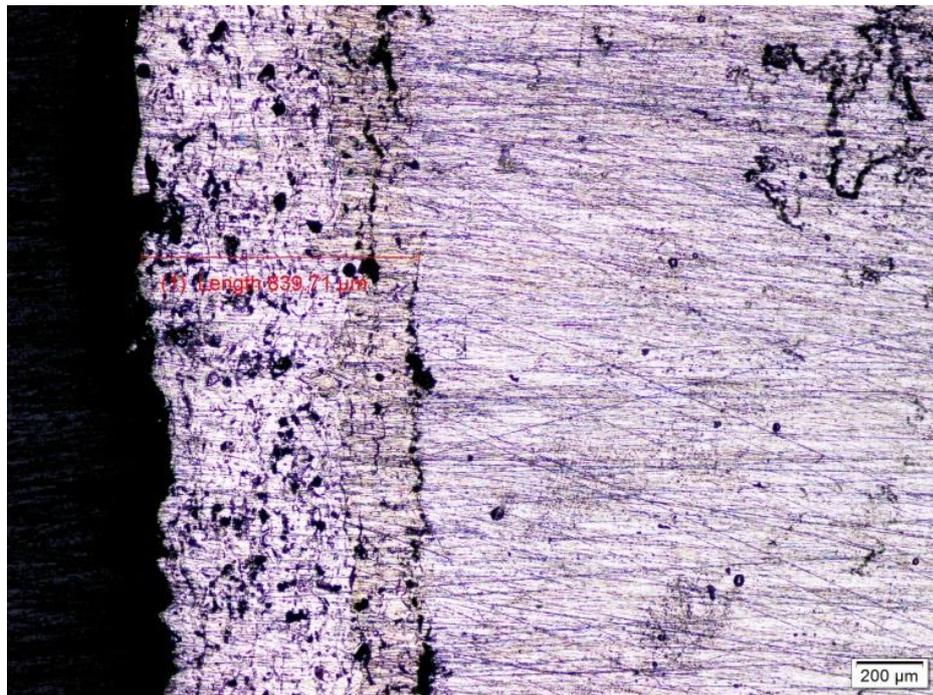
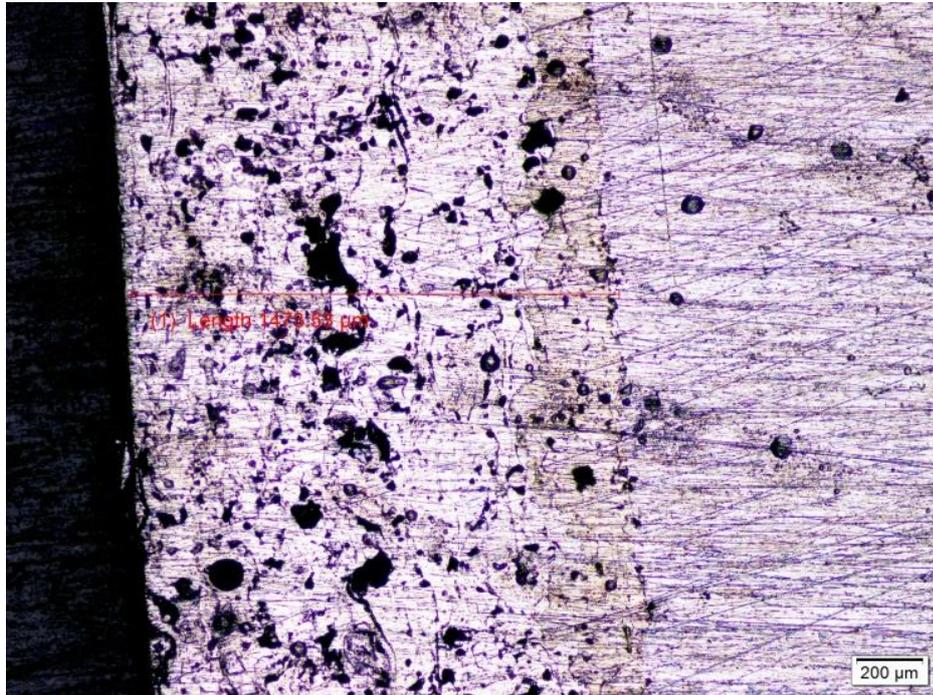
Pada proses *thermal spray* besar kecilnya kekuatan lekat lapisan disebabkan karena beberapa hal. Terbentuknya porositas pada lapisan *coating* dimana semakin besar dan banyak porositas yang terbentuk menyebabkan kekuatan mekanik *interlocking* lapisan *coating* hilang, baik kekuatan mekanik

antara lapisan *coating* dengan substrat ataupun antar partikel lapisan *coating* akibatnya kekuatan lekat lapisan menurun. Hal lain yang juga mempengaruhi besar kecil kekuatan lekat lapisan adalah karena senyawa oksida yang terbentuk pada lapisan. Dimana semakin rendah oksida yang terbentuk akan meningkatkan kekuatan lekat dari material *coating* (Valiulis, 2003).

Untuk mendukung analisa tersebut maka dibutuhkan pengamatan secara visual menggunakan mikroskop mikro pada penampang melintang spesimen untuk melihat lebih jelas porositas yang terbentuk pada batas *interface* dan hasil *coating*.



**Gambar 4.7.** Hasil foto mikro penampang melintang specimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeCrMnNiCSi (*top coat*) dengan variasi tekanan udara 3 bar (atas) dan 5 bar (bawah)



**Gambar 4.8.** Hasil foto mikro penampang melintang specimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) dengan variasi tekanan udara 3 bar (atas) dan 5 bar (bawah).

Pada gambar 4.7. dan 4.8. menunjukkan hasil pengambilan foto mikro penampang melintang pada masing masing spesimen, dapat dilihat batas interface antara permukaan substrat dengan lapisan *bond coating* yang ditunjukkan pada gambar 4.7. memiliki porositas lebih besar daripada spesimen yang di tunjukan pada gambar 4.8. Hal ini yang menyebabkan rendahnya kekuatan lekat spesimen dengan lapisan *coating* yang memiliki unsur paduan FeCrMnNiCSi dimana nilai dari masing masing pengujian adalah 15,55 MPa untuk variable tekanan udara 3 bar. Dan 16.83 MPa untuk variable tekanan udara 5 bar.

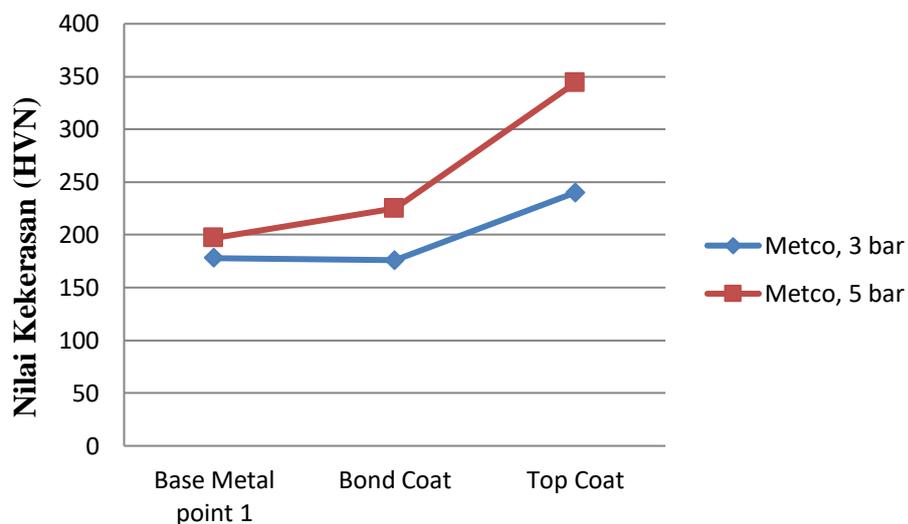
Terbentuknya porositas tersebut karena terdapat oksigen yang tejabak pada lapisan *coating* karena jarak *spraying* yang terlalu jauh atau tekanan udara yang kecil pada saat penyemprotan tidak stabil menyebabkan material *coating* unmelted dan cenderung diikuti dengan adanya porositas.

#### **4.3. Pembahasan dan Analisa Hasil Pengujian Mikrohardnest**

Pengujian kekerasan lapisan *coating* dan base metal menggunakan *microhardnest vicker tester* (model 402 MVD S/N “V2D531”) dengan standart ASTM E92. Pengujian dilakukan sebanyak empat titik setiap spesimen. Menggunakan beban indentasi sebesar 250 gf dengan lama indentasi 15 s. Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 4 titik pada setiap masing – masing spesimen, bertujuan untuk melihat nilai kekerasan base metal, lapisan *bond coating* dan lapisan *top coating*.

**Tabel 4.1.** Tabel hasil pengujian mikrohardness spesimen dengan lapisan *coating* yang memiliki unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeCrMnNiCSi (*top coat*) variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

Section	Nilai (HVN) Variable tekanan udara 3 bar	Nilai (HVN) Variable tekanan udara 5 bar
<i>Base Metal</i>	178	197
<i>Bond coat</i>	176	225
<i>Top coat</i>	240	344



**Gambar 4.9.** Grafik hasil pengujian mikrohardness spesimen dengan lapisan *coating* yang memiliki unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeCrMnNiCSi (*top coat*) variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

Pada tabel 4.1. memperlihatkan nilai kekerasan mengalami peningkatan mulai dari base metal, *bond coat* dan *top coat*. Hal tersebut terjadi karena pada setiap bagian tersebut memiliki unsur kandungan dan komposisi yang berbeda. Kandungan unsur nikel pada *bond coat* yang besar

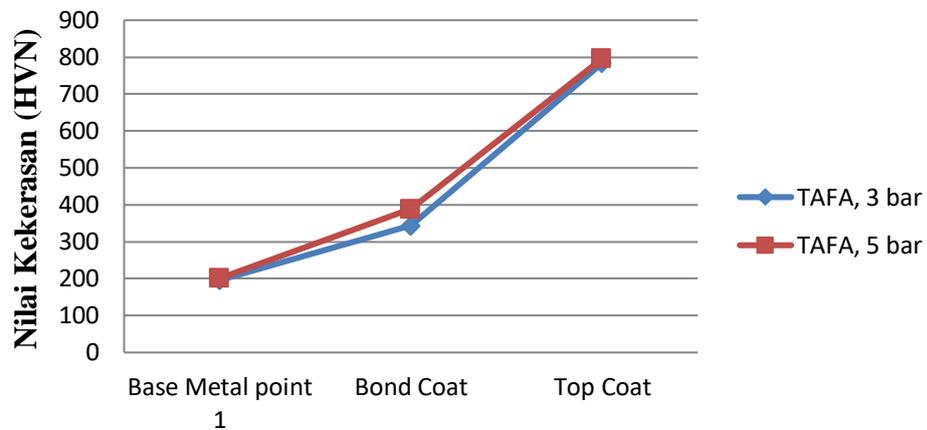
yaitu 80% ditambah unsur aluminium 20% terbukti mampu meningkatkan nilai kekerasan daripada base metal yaitu material ST 60 yang sebagian besar terdiri dari unsur Fe 98.46%, C 0.564%, Mn 0.697%. Material nikel memiliki properties kekerasan lebih tinggi daripada besi(Fe) (Samsonov, 1998). Dan yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi adalah pada bagian *top coat*. Unsur yang terkandung pada bagian *top coat* meliputi Fe 85.4%, Cr 13%, Mn 0.5%, Ni 0.5%, C 0.35%, Si 0.25%. Penambahan unsur chromium terbukti mampu meningkatkan nilai kekerasan material. Menurut Sumiyanto, 2006. Unsur paduan *chrome* yang terkandung pada pada suatu material menjadi faktor yang mempengaruhi peningkatan nilai kekerasan. Dan material chrome memiliki properties kekarasan dua kali lebih tinggi dari nikel dan besi (Samsonov, 1998).

Selain itu hasil pengujian kekerasan pada spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni80%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeCrMnNiCSi (*top coat*) dengan variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar ditunjukkan pada tabel 4.1. Pada gambar 4.9. adalah grafik perbandingan spesimen yang menggunakan variabel tekanan udara 3 bar dan 5 bar. Grafik menunjukkan peningkatan nilai kekerasan pada bagian *bond coat* dari tekanan udara 3 bar yang memiliki nilai kekerasan yaitu 176. HVN dan semakin meningkat pada tekanan udara 5 bar yang memiliki nilai kekerasan 225 HVN. Begitu juga pada bagian *top coat* dari tekanan udara 3 bar yang memiliki nilai kekerasan 240 HVN dan semakin meningkat pada tekanan udara 5 bar yang memiliki nilai kekerasan 344 HVN.

Peningkatan nilai kekerasan tersebut terjadi sesuai dengan hasil foto mikro penampang melintang spesimen yang ditunjukkan pada gambar 4.7. dimana hasil foto mikro tersebut menunjukkan porositas yang semakin menurun pada setiap kenaikan tekanan udara saat proses *coating*. Pada tabel 4.1. juga terlihat nilai kekerasan *bond coat* variabel 3 bar mengalami penurunan dari nilai kekerasan *base metal*, hal tersebut disebabkan jika dilihat pada foto mikro penampang melintang menunjukkan bagian *bond coat* variabel tekanan udara 3 bar memiliki porositas yang besar sehingga susah didapatkan nilai kekerasan yang maksimal.

**Tabel 4.2.** Tabel hasil pengujian mikrohardness spesimen dengan lapisan *coating* yang memiliki unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

<b>Section</b>	<b>Nilai (Hvn) Variable tekanan udara 3 bar</b>	<b>Nilai (Hvn) Variable tekanan udara 5 bar</b>
<i>Base Metal</i>	196	201
<i>Bond coat</i>	344	389
<i>Top coat</i>	784	796



**Gambar 4.10.** Grafik hasil pengujian mikrohardness spesimen dengan lapisan *coating* yang memiliki unsur paduan Ni95%Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

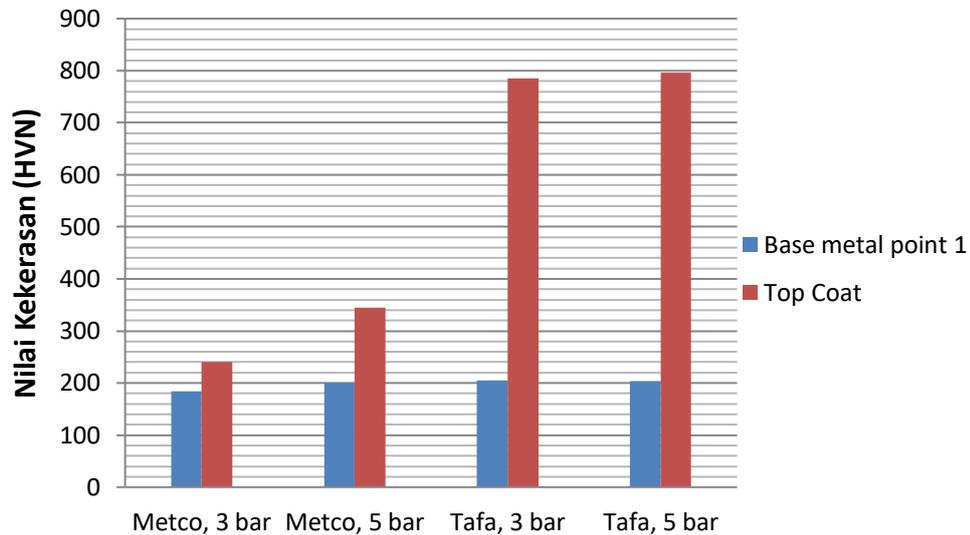
Pada tabel 4.2. memperlihatkan nilai kekerasan mengalami peningkatan mulai dari base metal, *bond coat* dan *top coat*. Hal tersebut terjadi karena pada setiap bagian tersebut memiliki unsur kandungan dan komposisi yang berbeda. Kandungan unsur nikel pada *bond coat* yang besar yaitu 95% ditambah unsur aluminium 5% terbukti mampu meningkatkan nilai kekerasan daripada base metal yaitu material ST 60 yang sebagian besar terdiri dari unsur Fe 98.46%, C 0.564%, Mn 0.697%. Material nikel memiliki properties kekerasan lebih tinggi daripada besi(Fe) (Samsonov, 1998). Dan yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi adalah pada bagian *top coat*. Pada grafik yg ditunjukkan gambar 4.10 menunjukkan peningkatan nilai kekerasan yang sangat drastis. Hal tersebut dikarenakan unsur yang terkandung pada bagian *top coat* meliputi Fe 54.17%, Si 0.25%, Cr 14%, Ni 0.5%, Mn 0.5%, B 1.87% WC 26%, TiC 6.0%. Penambahan unsur boron, tungsten carbide dan titanium carbide terbukti mampu lebih meningkatkan

nilai kekerasan material. Penggunaan material boron dan tungsten carbide yang sering diaplikasikan pada turbin dan nosel roket sebagai media pelapis karena sifat ketahanan panasnya yang sangat tinggi juga memiliki nilai kekerasan sangat tinggi mencapai 1400-1800 HVN (Sugondo, Ratih, Futichah, Mujtahid, 2007). Sedangkan unsur paduan Titanium karbida (TiC) mempunyai titik lebur  $>3000^{\circ}$  C dan mempunyai kekerasan 9 dalam skala Mohs, nilai 1 untuk yang ter lunak yaitu talc dan yang terkeras adalah intan yaitu pada index 10 (Pierson, 1996).

Selain itu hasil pengujian kekerasan juga dilakukan pada spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan Ni95% Al (*bond coat*) serta unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (*top coat*) dengan variasi tekanan udara 3 bar dan 5 bar ditunjukkan pada tabel 4.2. Pada gambar 4.10. adalah grafik perbandingan spesimen yang menggunakan variabel tekanan udara 3 bar dan 5 bar. Grafik menunjukkan peningkatan nilai kekerasan pada bagian *bond coat* dari tekanan udara 3 bar yang memiliki nilai kekerasan yaitu 344 HVN dan semakin meningkat pada tekanan udara 5 bar yang memiliki nilai kekerasan 389 HVN. Begitu juga pada bagian *top coat* dari tekanan udara 3 bar yang memiliki nilai kekerasan 784 HVN dan semakin meningkat pada tekanan udara 5 bar yang memiliki nilai kekerasan 796 HVN.

Peningkatan nilai kekerasan tersebut terjadi sesuai dengan hasil foto mikro penampang melintang spesimen yang ditunjukkan pada gambar 4.8.

dimana hasil foto mikro tersebut menunjukkan porositas yang semakin menurun pada setiap kenaikan tekanan udara saat proses *coating*.



**Gambar 4.11.** Diagram batang hasil pengujian mikrohardness lapisan *coating* metco dengan lapisan *coating* tafa, variable tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

Pada gambar 4.11. menunjukkan grafik hasil pengujian mikrohardness pada lapisan *coating* paling atas yang memiliki unsur paduan FeCrMnNiCSi (metco) dengan lapisan *coating* paling atas yang memiliki unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (Tafa). Grafik menunjukkan perbedaan yang cukup drastis. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan unsur paduan yang terkandung pada lapisan *top coating* tersebut. Penambahan unsur boron sebanyak 1.57%, WC 26.0% dan TiC 6.0% terbukti dapat lebih meningkatkan kekerasan permukaan. Penggunaan material boron dan tungsten carbide yang sering diaplikasikan pada turbin dan nosel roket sebagai media pelapis karena sifat ketahanan panasnya yang sangat tinggi juga memiliki nilai kekerasan sangat tinggi mencapai 1400-1800 HVN

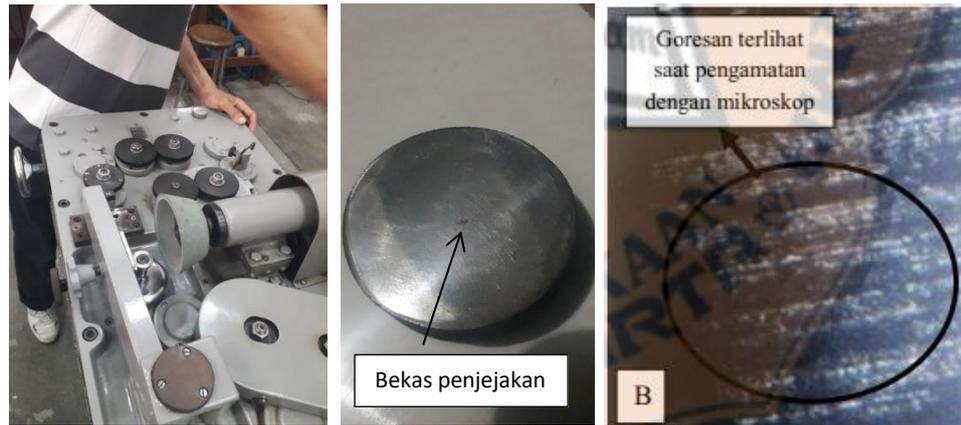
(Sugondo,Ratih,Futichah,Mujtahid, 2007). Sedangkan unsur paduan Titanium karbida (TiC) mempunyai titik lebur  $>3000^{\circ}$  C dan mempunyai kekerasan 9 dalam skala mohs, nilai 1 untuk yang terluak yaitu talc dan yang terkeras adalah intan yaitu pada index 10 (Pierson, 1996).

Grafik juga menunjukkan perbedaan tekanan udara mempengaruhi nilai kekerasan. Didapatkan hasil bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan udara dari 3 bar menjadi 5 bar. Hal tersebut terjadi karena tekanan udara yang semakin tinggi mempengaruhi tingkat kecepatan udara dan kekuatan hantaman splat. Partikel cair material *coating* yang dihasilkan akan semakin mengecil seiring dengan bertambahnya tekanan udara. Semakin meningkatnya tekanan udara juga menyebabkan partikel cair dari material *coating* yang terpecah karena tabrakan akan semakin kecil sehingga menghasilkan struktur yang semakin halus dan kerapatan antar partikel akan meningkat. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Prask 2006) menyebutkan nilai kekerasan permukaan *coating* akan semakin meningkat seiring dengan kerapatan yang semakin tinggi.

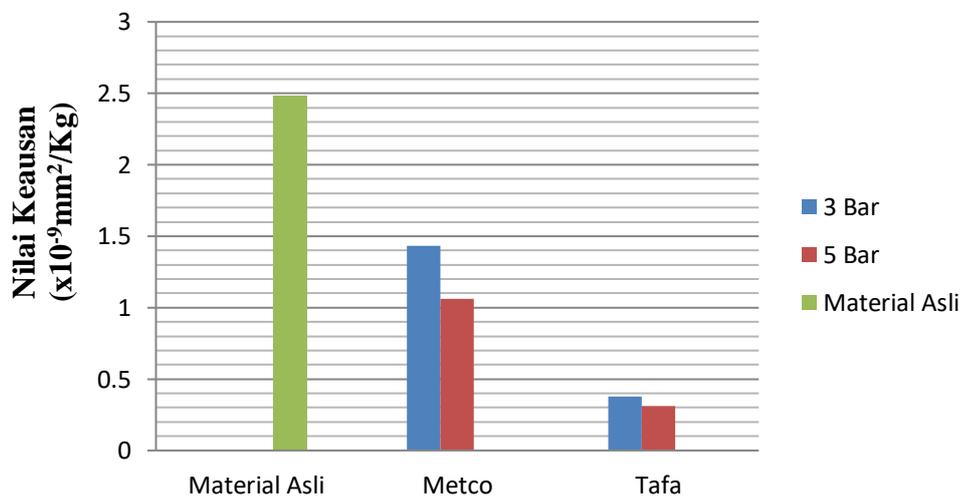
#### **4.4. Pembahasan dan Analisa Hasil Pengujian Keausan**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada spesimen menggunakan mesin Ogoshi high speed universal wear testing machine (Type OAT-U). Bahan uji atau spesimen mendapat beban gesekan dari disk berdiameter 38 mm yang berputar (revolving disc) selama 1 menit. Kontak antar permukaan antara disc dan permukaan spesimen akan

menghasilkan jejak bekas gesekan, besar jejakan tersebut yang kemudian dijadikan dasar penentuan nilai keausan material seperti ditunjukkan pada gambar 4.12



**Gambar 4.12.** Alat pengujian keausan (kiri) hasil bekas penjejakan disc (tengah) dan besaran hasil penjejakan (kanan).



**Gambar 4.13.** Diagram batang hasil pengujian keausan pada raw material, dan spesimen dengan variabel tekanan udara 3 bar dan 5 bar.

Pada gambar 4.13 menunjukkan perubahan nilai keausan mulai dari raw material, spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan

FeCrMnNiCSi (Metco) dan spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC (Tafa). Grafik menunjukkan nilai keausan semakin penurunan berturut-turut mulai dari material asli yang memiliki nilai keausan sebesar  $2.4764 \times 10^{-9}$  mm/Kg<sup>2</sup>, kemudian spesimen dengan lapisan *coating* Metco tekanan udara 3 bar sebesar  $1.4304 \times 10^{-9}$  mm/Kg<sup>2</sup>, tekanan udara 5 bar sebesar  $1.0625 \times 10^{-9}$  mm/Kg<sup>2</sup> dan nilai keausan yang paling kecil yaitu spesimen dengan lapisan *coating* Tafa dengan nilai sebesar  $0.3786 \times 10^{-9}$  mm/Kg<sup>2</sup> pada tekanan udara 3 bar serta nilai sebesar  $0.3095 \times 10^{-9}$  mm/Kg<sup>2</sup> pada tekanan udara 5 bar. Semakin menurunnya nilai keausan menandakan material tersebut semakin memiliki ketahanan aus yang baik.

Salah satu faktor yang mempengaruhi keausan adalah kekerasan material (Isranuri, 2012). Pada gambar 4.11.(Grafik perbandingan nilai kekerasan) menunjukkan nilai kekerasan spesimen base metal (material asli), spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan FeCrMnNiCSi dan spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC, serta gambar 4.13. juga menunjukkan nilai keausan lapisan *coating* dengan unsur paduan FeCrMnNiCSi dan spesimen yang memiliki lapisan *coating* dengan unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC. Dari kedua grafik tersebut membuktikan semakin tinggi nilai kekerasan material menyebabkan ketahanan ausnya semakin baik. Selain itu penambahan unsur paduan boron 1.87%, tungsten carbide 26.0% dan

titanium carbide 6.0% yang memiliki nilai kekerasan tinggi terbukti meningkatkan ketahanan aus material.

Oleh sebab itu dengan dilakukannya perlakuan *coating* pada permukaan material membuktikan dapat meningkatkan ketahanan aus permukaan material sebesar 49.66% untuk material *coating* yang memiliki unsur paduan FeCrMnNiCSi (Metco) dan peningkatan nilai ketahanan aus permukaan material paling besar yaitu 86,10% untuk material *coating* yang memiliki unsur paduan FeSiCrNiMnBWCTiC.

#### **4.5. Perhitungan Persentase Kenaikan**

Perhitungan persentase kenaikan sifat mekanik permukaan material sebelum dilakukan proses thermal spray dan setelah dilakukan proses thermal spray yang didapatkan dari data pengujian kekerasan dan data pengujian keausan. Perhitungan dapat dilihat pada pembahasan dibawah ini.

Rumus mencari persentasi nilai kenaikan yaitu:

$$\frac{\text{Nilai Kenaikan}}{\text{Nilai Awal}} \times 100 = \dots \%$$

1. Persentase Kenaikan Sifat Mekanik dengan Menggunakan Material *Coating* FeCrMnNiCSi Tekanan Udara 3 Bar dan 5 Bar.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 240 - 193 = 47$$

- 240 (Nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar)

- 193 (Rata-rata nilai kekerasan base metal)

$$\text{Nilai Awal} = 240$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{47}{240} \times 100 = 19.58 \%$$

Persentasi nilai kekerasan FeCrMnNiCSi (3 bar) yaitu sebesar **19.58%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 344 - 193 = 151$$

- 344 (Nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 5 bar)

- 193 (Rata-rata nilai kekerasan base metal)

$$\text{Nilai Awal} = 344$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{151}{344} \times 100 = 43.89 \%$$

Persentasi nilai kekerasan FeCrMnNiCSi (5 bar) yaitu sebesar **43.89%**

Persentase nilai kekerasan FeCrMnNiCSi 3 bar dan 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar 31.73%.

Jadi untuk persentase kenaikan nilai kekerasan dengan menggunakan material *coating* FeCrMnNiCSi sebesar **31.73%**.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 2.4764 \times 10^{-9} - 1.4304 \times 10^{-9} = 0.3679 \times 10^{-9}$$

-  $2.4764 \times 10^{-9}$  (Nilai keausan raw material)

-  $1.4304 \times 10^{-9}$  (Nilai keausan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 2.4764 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{0.3679 \times 10^{-9}}{2.4764 \times 10^{-9}} \times 100 = 14.85 \%$$

Persentase nilai keausan FeCrMnNiCSi (3 bar) yaitu sebesar **14.85%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 2.4764 \times 10^{-9} - 1.0625 \times 10^{-9} = 1.4139 \times 10^{-9}$$

-  $2.4764 \times 10^{-9}$  (Nilai keausan raw material)

-  $1.0625 \times 10^{-9}$  (Nilai keausan FeCrMnNiCSi tekanan udara 5 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 2.4764 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{1.4139 \times 10^{-9}}{2.4764 \times 10^{-9}} \times 100 = 57.09 \%$$

Persentase nilai keausan FeCrMnNiCSi (5 bar) yaitu sebesar **57.09%**

Persentase nilai kekerasan FeCrMnNiCSi 3 bar dan 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar 49.66%.

Jadi untuk persentase kenaikan nilai kekerasan dengan menggunakan material *coating* FeCrMnNiCSi sebesar **49.66%**.

2. Persentase Kenaikan Sifat Mekanik dengan Menggunakan Material *Coating* FeSiCrNiMnBWCTiC Tekanan Udara 3 Bar dan 5 Bar.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 784 - 193 = 591$$

- 784 (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar)

- 193 (Rata-rata nilai kekerasan base metal)

$$\text{Nilai Awal} = 784$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{591}{784} \times 100 = 75.38 \%$$

Persentase nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC (3 bar) yaitu sebesar **75.38%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 796 - 193 = 603$$

- 796 (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 5 bar)

- 193 (Rata-rata nilai kekerasan base metal)

$$\text{Nilai Awal} = 796$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{603}{796} \times 100 = 75.75 \%$$

Persentasi nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC (5 bar) yaitu sebesar **75.75%**

Persentase nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC 3 bar dan 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar 75.56%.

Jadi untuk persentase kenaikan nilai kekerasan dengan menggunakan material *coating* FeSiCrNiMnBWCTiC sebesar **75.56%**.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 2.4764 \times 10^{-9} - 0.3786 \times 10^{-9} = 2.0978 \times 10^{-9}$$

$$- 2.4764 \times 10^{-9} \text{ (Nilai keausan raw material)}$$

$$- 0.3786 \times 10^{-9} \text{ (Nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar)}$$

$$\text{Nilai Awal} = 2.4764 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{2.0978 \times 10^{-9}}{2.4764 \times 10^{-9}} \times 100 = 84.71 \%$$

Persentase nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC (3 bar) yaitu sebesar **84.71%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 2.4764 \times 10^{-9} - 0.3095 \times 10^{-9} = 2.1669 \times 10^{-9}$$

$$- 2.4764 \times 10^{-9} \text{ (Nilai keausan raw material)}$$

$$- 0.3095 \times 10^{-9} \text{ (Nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 5 bar)}$$

$$\text{Nilai Awal} = 2.4764 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{2.1669 \times 10^{-9}}{2.4764 \times 10^{-9}} \times 100 = 87.50 \%$$

Persentase nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC (5 bar) yaitu sebesar **87.50%**

Persentase nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC 3 bar dan 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar 86.10%.

Jadi untuk persentase kenaikan nilai keausan dengan menggunakan material *coating* FeSiCrNiMnBWCTiC sebesar **86.10%**.

3. Persentase Kenaikan Sifat Mekanik dengan Penambahan Tekanan Udara dari 3 Bar Menjadi 5 Bar.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 344 - 240 = 104$$

- 344 (Nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 5 bar)

- 240 (Nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 344$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{104}{344} \times 100 = 30.23 \%$$

Persentasi nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar dan 5 bar yaitu sebesar **30.23%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 796 - 784 = 12$$

- 796 (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 5 bar)

- 784 (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 796$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{12}{796} \times 100 = 1.50 \%$$

Persentase nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar dan 5 bar yaitu sebesar **1.50%**

Persentase nilai kekerasan FeCrMnNiCSi dan FeSiCrNiMnBWCTiC dengan penambahan tekanan udara 3 bar menjadi 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar 15.86%.

Jadi untuk persentase kenaikan nilai kekerasan dengan penambahan tekanan udara dari 3 bar menjadi 5 bar sebesar **15.86%**.

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 1.4304 \times 10^{-9} - 1.0625 \times 10^{-9} = 0.3679 \times 10^{-9}$$

-  $1.4304 \times 10^{-9}$  (Nilai keausan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar)

-  $1.0625 \times 10^{-9}$  (Nilai kekerasan FeCrMnNiCSi tekanan udara 5 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 1.4304 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{0.3679 \times 10^{-9}}{1.4304 \times 10^{-9}} \times 100 = 25.72 \%$$

Persentasi nilai keausan FeCrMnNiCSi tekanan udara 3 bar dan 5 bar yaitu sebesar **25.72%**

❖ Diketahui:

$$\text{Nilai Kenaikan} = 0.3786 \times 10^{-9} - 0.3095 \times 10^{-9} = 0.0691 \times 10^{-9}$$

-  $0.3786 \times 10^{-9}$  (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar)

-  $0.3095 \times 10^{-9}$  (Nilai kekerasan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 5 bar)

$$\text{Nilai Awal} = 0.3786 \times 10^{-9}$$

❖ Pembahasan:

$$\frac{0.0691 \times 10^{-9}}{0.3786 \times 10^{-9}} \times 100 = 18.25 \%$$

Persentasi nilai keausan FeSiCrNiMnBWCTiC tekanan udara 3 bar dan 5 bar yaitu sebesar **18.25%**

Persentase nilai keausan FeCrMnNiCSi dan FeSiCrNiMnBWCTiC dengan penambahan tekanan udara 3 bar menjadi 5 bar dirata-rata dan didapatkan hasil sebesar **21.98%**.

