

PERLAKUAN PERMUKAAN PADUAN BAJA DENGAN PROSES TERMOKIMIA

M. Husna Al Hasa

Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang - BATAN

ABSTRAK

PERLAKUAN PERMUKAAN PADUAN BAJA DENGAN PROSES TERMOKIMIA. Perlakuan permukaan dengan proses termokimia dilakukan untuk memperoleh ketangguhan sifat paduan baja. Perlakuan termokimia pada permukaan baja hasil *tempering* pada suhu 595 °C dengan waktu 130 menit dilakukan pada suhu 570 °C selama 120 menit. Proses perlakuan permukaan ini akan menghasilkan senyawa nitrida besi. Senyawa nitrida ini akan memberi dampak terhadap perubahan sifat permukaan baja paduan. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis struktur mikro dan senyawa dengan *scanning electron microscope* (SEM) dan *emission diffraction x-ray spectrometer* (EDX). Pengujian sifat mekanik pada permukaan dilakukan dengan metode Vicker. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada permukaan baja terbentuk lapisan. Lapisan cenderung berwarna putih dengan ketebalan 3 µm dan lapisan di bawah warna putih berkisar 52 µm. Hasil analisis komposisi unsur dengan EDX memperlihatkan bahwa pada lapisan berwarna putih terdapat unsur nitrogen yang relatif tinggi mencapai 11,78 %. Sementara itu, di bawah lapisan putih unsur nitrogen berkisar 6,28 % dan karbon sekitar 7,87 %. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa sifat kekerasan relatif cukup tinggi pada lapisan putih yang terdapat kadar unsur nitrogen 11,78 % daripada yang 6,28 % nitrogen. Lapisan tersebut cenderung membentuk fasa δ (Fe_2N) yang bersifat relatif keras.

Kata kunci: paduan baja, perlakuan termokimia, struktur mikro

ABSTRACT

SURFACE TREATMENT IN THE STEEL ALLOY BY THERMOCHEMICAL PROCESS. The surface treatment by thermochemical was performed to increase thoughness of the steel alloy properties. Thermochemical treatment on the steel alloy surface resulted from the tempering at 595 °C for 130 minutes was conducted at 570 °C for 120 minutes. The surface treatment produced nitrides coumpound. The nitrides compound could affect the steel alloy properties. The test consisted of microstructure and compound analysis using SEM and EDX. The test of mechanical properties of the layer surface of steel alloy was evaluated using Vicker's method. The results of microstructure observation showed that on the steel

alloy surface tended to form the compound layer. The white layer was 3 μm thickness and below white layer about 52 μm thickness. The results of composition analysis by EDX showed that at the white layer contained nitrogen element of 11,78 %. While below the white layer contained about 6,28 % nitrogen and 7,87 % carbon. The results of hardness test indicated that the hardness properties in the white layer with 11,78 % nitrogen content was relatively higher than below the white layer with 6,28 % nitrogen content. The white layer tended to form the δ phase (Fe_2N), which was relatively hard.

Key words: steel alloy, thermochemical treatment, microstructure

PENDAHULUAN

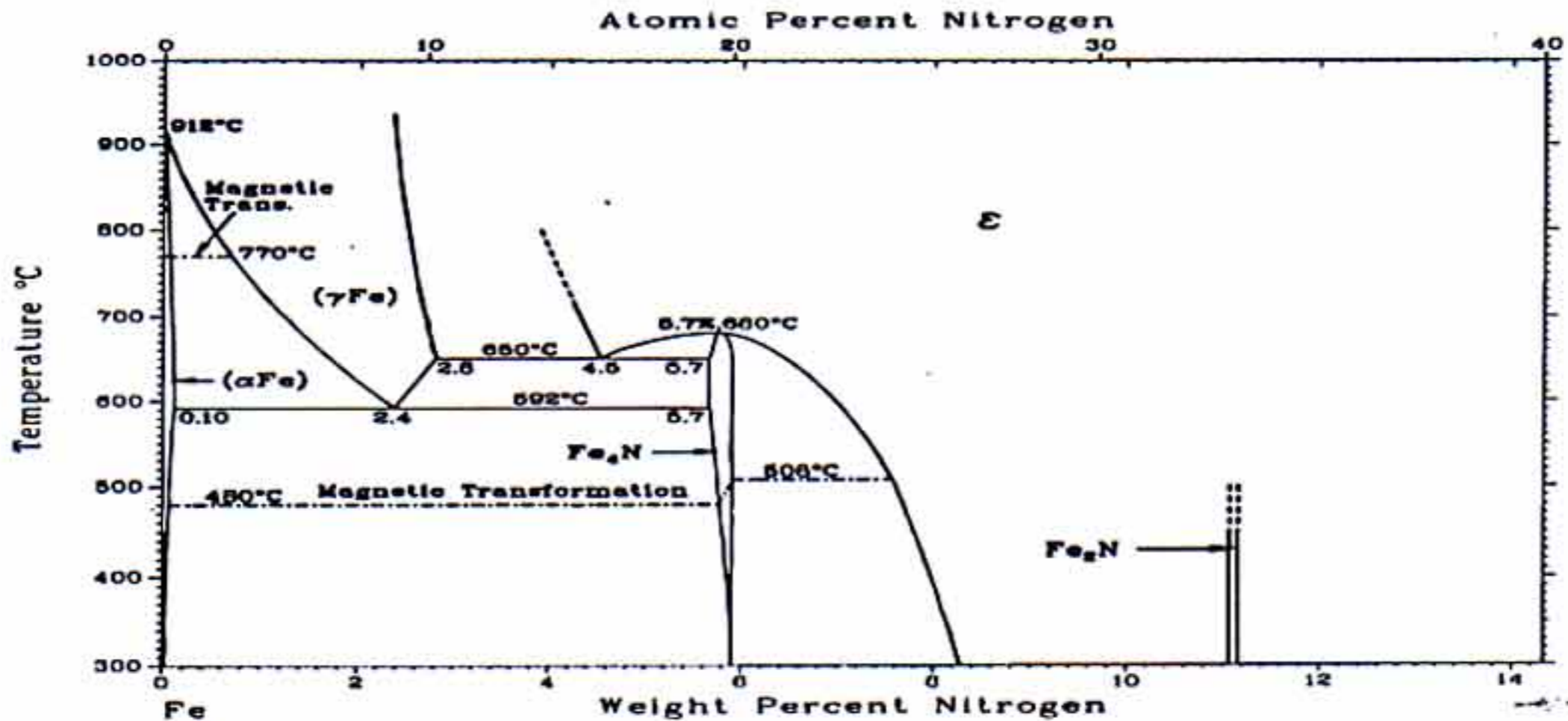
Instalasi nuklir menggunakan paduan baja terutama untuk komponen struktur, vesel reaktor, sudu turbin, nosel dan peralatan dukung lainnya [1, 2]. Selain itu, paduan baja juga banyak digunakan pada berbagai bidang di industri terutama bidang kontruksi, peralatan perkakas dan permesinan. Bahan baja sebagai peralatan komponen reaktor terutama untuk sudu turbin dan nosel dalam pengoperasiannya akan mengalami pembebanan dinamis. Pembebanan dinamis ini memungkinkan mempercepat penurunan ketahanan lelah dan ketahanan aus [3]. Keausan dan patah lelah yang diakibatkan oleh pembebanan berulang sangat dipengaruhi oleh pemusatan tegangan setempat akibat adanya cacat permukaan pada bahan baja [3, 4]. Kondisi ini dapat diatasi dengan meningkatkan sifat ketangguhan permukaan bahan baja yang memiliki sifat kekerasan tertentu dengan metoda perlakuan permukaan [5]. Perlakuan permukaan baja dapat dilakukan melalui proses perlakuan termokimia. Perlakuan termokimia ini diharapkan akan meningkatkan sifat permukaan baja yang keras, tahan aus, tahan korosi dan memiliki ketahanan terhadap beban dinamis.

Perlakuan termokimia ini melibatkan penambahan unsur nitrogen dan karbon melalui proses difusi yang akan bereaksi dengan unsur paduan baja membentuk senyawa lapisan pada permukaan bahan hingga pada kedalaman tertentu [6]. Konsentrasi nitrogen yang terbesar terdapat pada bagian permukaan dan berangsur-

angsur menurun sebagian dalam bahan baja [7]. Proses termokimia ini menggunakan gas nitrogen, gas amoniak dan hidrokarbon yang berlangsung pada suhu di atas 450 °C dan di bawah suhu 592 °C. Pada suhu tersebut memungkinkan kondisi struktur fasa paduan baja sebagian besar dalam bentuk feritik. Proses termokimia feritik diramalkan akan menghasilkan lapisan senyawa berupa fasa δ , fasa ϵ , fasa γ dan fasa lainnya pada permukaan baja. Fasa δ (Fe_2N) berstruktur *orthorombic* akan terbentuk pada permukaan baja apabila komposisi N yang larut mencapai 11,05 %. Fasa ϵ (Fe_3N) berstruktur *hexagonal* terbentuk pada daerah lapisan dengan komposisi antara di atas 8 - 11 % N. Fasa $\gamma+\epsilon$ ($\text{Fe}_4\text{N}+\text{Fe}_3\text{N}$) akan terbentuk pada lapisan dengan komposisi antara di atas 6 - 8 % N. Sementara itu, fasa γ (Fe_4N) berstruktur *cubic* terbentuk pada daerah lapisan dengan komposisi antara di atas 5,7 – 6,1 % N, sedangkan antara di atas 0,1 – 5,7 % N akan terbentuk $\alpha+\gamma$ ($\text{Fe}+\text{Fe}_4\text{N}$). Fasa yang terbentuk pada permukaan lapisan pertama relatif didominasi oleh besi-nitrida yang relatif keras dari hasil reaksi Fe dan N yang berdifusi pada permukaan baja [7].

Diagram fasa Fe-N seperti pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa nitrogen akan larut padat di dalam besi hingga komposisi N mencapai 0,10 % dan di atas komposisi tersebut N akan bereaksi dengan Fe membentuk Fe_4N . Senyawa Fe_4N relatif stabil hingga komposisi N mencapai 6,1 % dan diatas komposisi tersebut Fe_4N akan berubah menjadi fasa ϵ (Fe_3N) [8]. Fasa ϵ relatif stabil hingga komposisi N mencapai 11 % dan di atas komposisi tersebut akan berubah menjadi fasa δ (Fe_2N). Proses termokimia berlangsung melalui tiga tahapan, yaitu tahap pertama terjadi disosiasi amoniak (NH_3) dan hidrokarbon (CH_4). Amoniak (NH_3) terurai menjadi $\text{N}+3\text{H}$ dan hidrokarbon (CH_4) terurai menjadi $2\text{H}_2+\text{C}$. Tahap kedua diikuti dengan penyerapan N ke dalam Fe- α menjadi larutan padat membentuk Fe-N dan seiring dengan itu terjadi penyerapan karbon membentuk karbonitrida. Atom N yang berdifusi pada permukaan baja akan bereaksi dengan feritik (Fe) membentuk besi nitrida yang keras [7].

Kemudian tahap ketiga proses difusi N dan C berlangsung hingga mencapai kedalaman tertentu.



Gambar 1. Diagram Fasa Fe-N

Proses termokimia feritik dilakukan didalam tungku dengan media gas amonia, nitrogen dan hidrokarbon pada suhu 570 °C selama 120 menit. Analisis struktur mikro hasil perlakuan termokimia dilakukan menggunakan SEM. Analisis unsur senyawa pada permukaan baja hasil perlakuan termokimia menggunakan EDX-SEM (*emission diffraction x-ray spectrometer-scanning electron microscope*). Pengukuran kekerasan permukaan baja hasil perlakuan termokimia dilakukan menggunakan metode Vicker.

TATA KERJA

Spesimen merupakan baja paduan yang mempunyai komposisi unsur pemadu utama Cr 5,09 % dan kandungan unsur lain seperti Mo 1,35 %, Si 1,12 %, V 0,92 %, Mn 0,41 %, C 0,39 %. Sampel yang akan dikenai perlakuan termokimia dibersihkan terlebih dahulu agar terbebas dari kontaminasi pengotor dan oksida. Sampel dimasukkan ke dalam tungku dengan pengendalian suhu dan aliran gas di atur dengan

dimasukkan ke dalam tungku dengan pengendalian suhu dan aliran gas di atur dengan tingkat presisi tinggi menggunakan program komputer. Proses perlakuan termokimia terhadap sampel hasil *tempering* pada suhu 595 °C dengan waktu 130 menit dilakukan di dalam tungku pada suhu sekitar 570 °C selama 120 menit sambil dialiri gas dengan komposisi 50 % ammonia, 49 % nitrogen dan 1 % hidrokarbon. Proses termokimia berlangsung bertahap yang diawali dengan disosiasi amoniak (NH₃) dan hidrokarbon (CH₄) kemudian diikuti penyerapan N yang larut-padat ke dalam fasa α (Fe). Kemampuan larut-padat fasa α mencapai batas kejenuhan menyebabkan pembentukan fasa Fe-N dan seiring dengan itu terjadi penyerapan karbon. Proses difusi N dan C berlangsung seiring dan bereaksi dengan unsur paduan hingga mencapai kedalaman tertentu. Analisis senyawa pada permukaan sampel hasil perlakuan termokimia diamati melalui struktur mikro dan komposisi kimia menggunakan SEM dan EDX. Pengujian sifat mekanik pada permukaan sampel diukur dengan menggunakan indentor Vicker.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan struktur mikro dan analisis komposisi unsur pada permukaan sampel baja paduan diperlihatkan pada Gambar 2, 3, 4 dan 5. Hasil pengujian sifat kekerasan pada senyawa lapisan ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 2 yang merupakan hasil pengamatan dengan SEM memperlihatkan senyawa lapisan hasil difusi nitrogen yang membentuk fasa nitrida. Hasil difusi nitrogen dan karbon membentuk lapisan dengan ketebalan mencapai 55 μm . Gambar 2 memperlihatkan variasi lapisan senyawa yang berupa lapisan tipis berwarna putih dan lapisan yang bukan berwarna putih. Lapisan tipis yang berwarna putih dengan ketebalan sekitar 3 μm yang teridentifikasi kadar nitrogen berkisar 11,78 %, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 diperkirakan cenderung membentuk senyawa nitrida besi (Fe₂N) yang bersifat keras. Spektrum EDX komposisi unsur senyawa pada lapisan

putih dan di bawah lapisan putih ditunjukkan pada Gambar 3, 4 dan 5. Gambar 3, 4 dan 5 memperlihatkan spektrum EDX yang menghasilkan beberapa unsur baru akibat dari proses perlakuan termokimia. Pembentukan unsur baru tersebut merupakan hasil proses difusi unsur nitrogen dan karbon yang berpenetrasi ke dalam baja paduan melalui permukaan. Gambar 3 memperlihatkan komposisi unsur pada permukaan lapisan putih yang teridentifikasi mengandung nitrogen (N). Unsur N relatif tinggi mencapai 11,78 %, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan bahwa komposisi unsur pada daerah bagian bawah lapisan putih terdapat unsur N dan C. Unsur N teridentifikasi berkisar 6,28 % relatif lebih rendah daripada yang terdapat pada lapisan putih, sedangkan unsur C teridentifikasi berkisar 7,87 %.

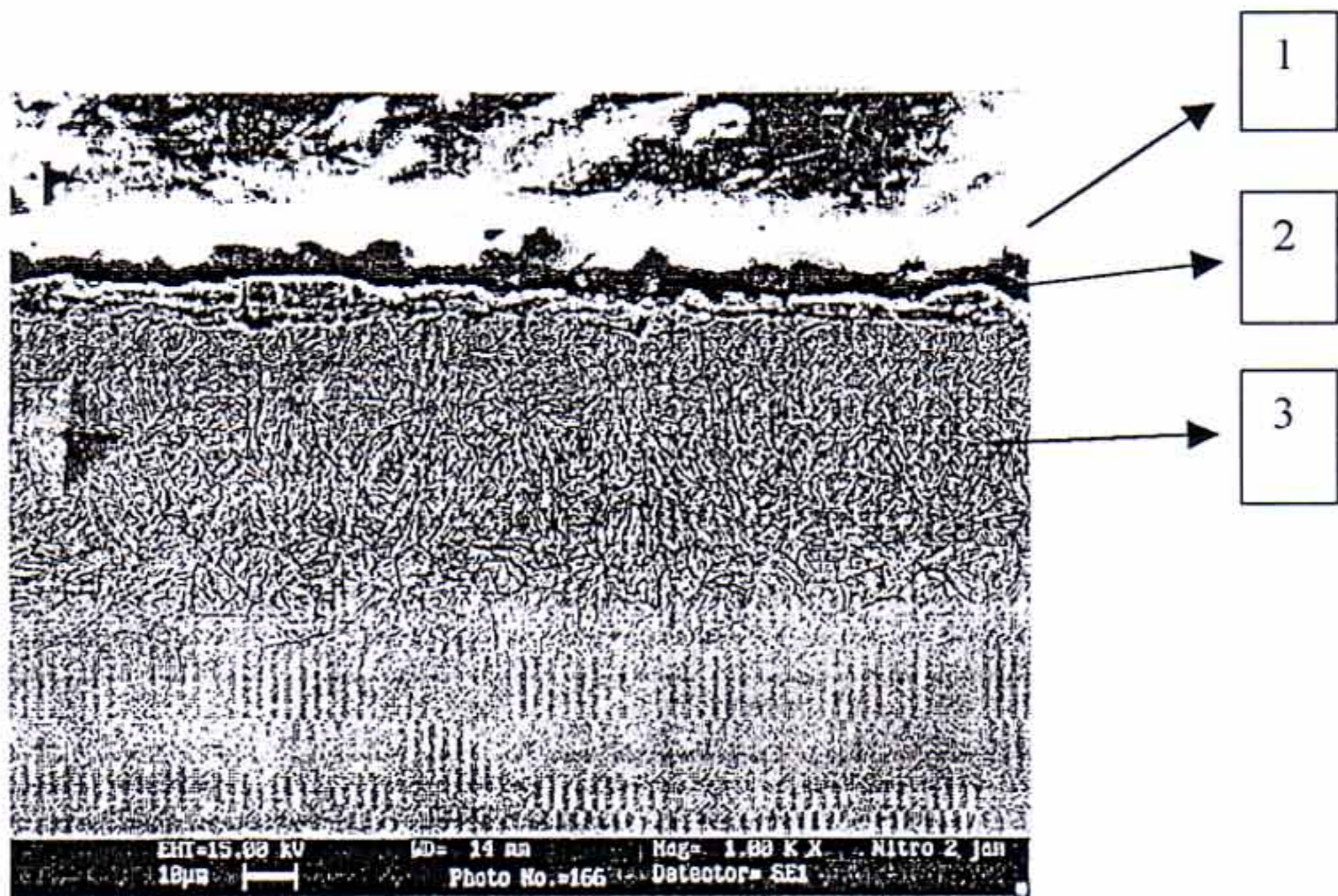
Nitrogen (N) yang terdapat pada permukaan baja sebagian kecil akan larut-padat secara interstisi dalam fasa α (Fe) hingga mencapai komposisi 0,1 % N [7]. Nitrogen monoatomik yang lainnya akan bereaksi dengan Fe membentuk fasa kedua berupa senyawa besi nitrida. Konsentrasi nitrogen (N) yang terbesar terdapat pada permukaan lapisan berwarna putih. Konsentrasi nitrogen berangsur-angsur menurun ke bagian dalam baja paduan yang semakin jauh dari permukaan. Kondisi ini dimungkinkan karena proses difusi nitrogen sangat dipengaruhi oleh waktu dan suhu. Hal ini dikarenakan semakin jauh dari permukaan baja semakin lama waktu berdifusi dan seiring dengan itu suhu pun relatif menurun. Selain itu, sebagian nitrogen yang terdapat pada permukaan cenderung bereaksi mengikat Fe membentuk senyawa nitrida. Berdasarkan analisis di atas dan diagram kesetimbangan fasa F-N terlihat bahwa kecenderungan fasa yang terbentuk pada lapisan nitridasi bervariasi sesuai dengan komposisi nitrogen. Pada lapisan putih, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dengan kadar unsur nitrogen berkisar 11,78 % cenderung membentuk fasa δ (Fe_2N) yang bersifat relatif keras. Pada daerah bagian bawah lapisan putih dengan kadar unsur nitrogen 6,28 % cenderung membentuk fasa $\gamma + \epsilon$, yaitu senyawa $\text{Fe}_4\text{N} + \text{Fe}_3\text{N}$.

Demikian seterusnya, seiring dengan menurun kadar nitrogen yang semakin jauh dari permukaan baja akan membentuk senyawa nitrida yang lain.

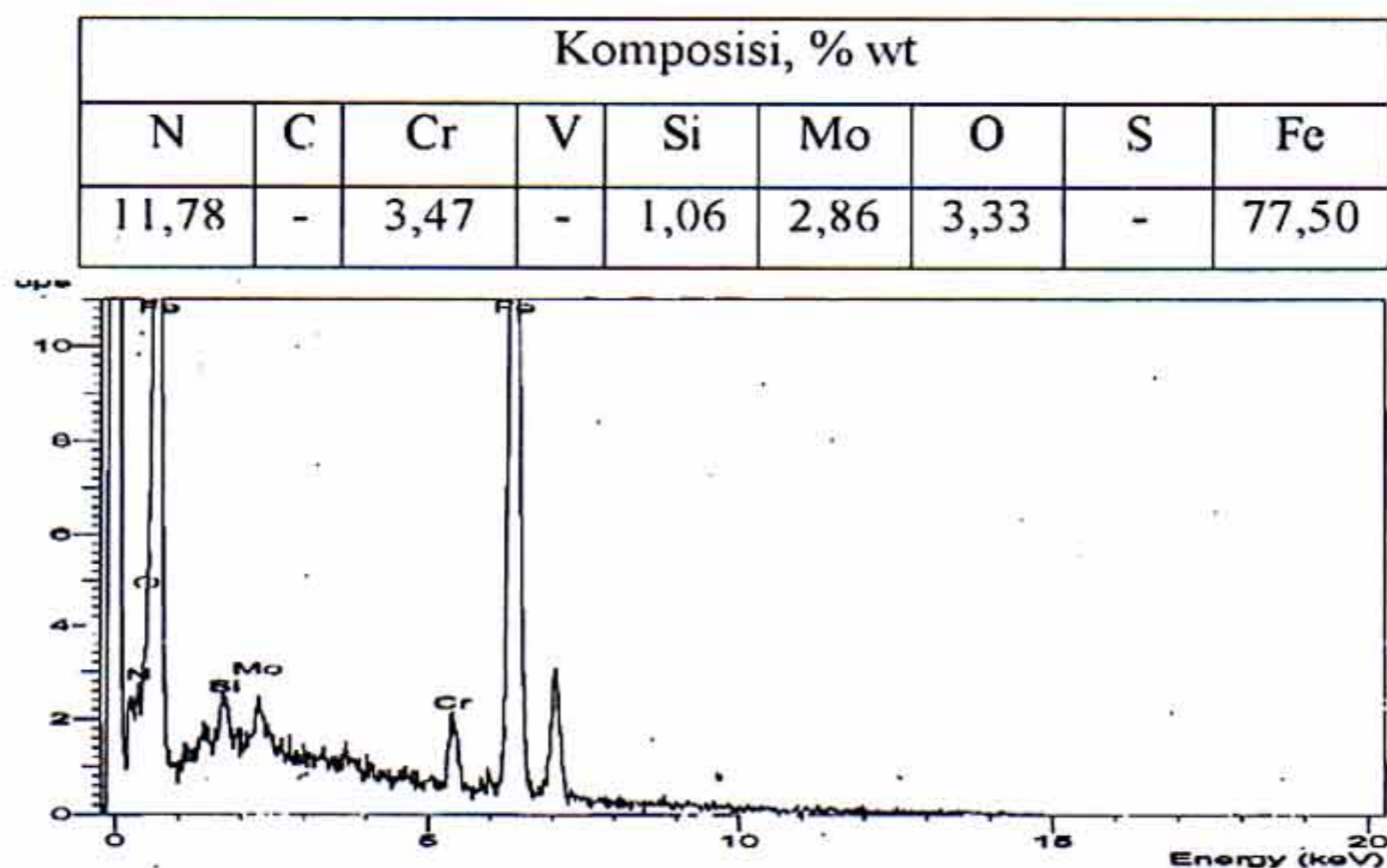
Pada lapisan yang mengandung kadar nitrogen 5,7 – 6 % N cenderung membentuk fasa γ (Fe_4N) dan pada lapisan yang berkadar 0,1 – 5,7 % N cenderung membentuk fasa $\alpha+\gamma$ ($\text{Fe}+\text{Fe}_4\text{N}$). Gambar 4 yang mengidentifikasi adanya unsur N dan C pada permukaan lapisan cenderung akan membentuk senyawa fasa besi nitrida dan besi karbida yang sangat tergantung pada prosentase unsur nitrogen dan karbon serta peranan suhu. Konsentrasi karbon relatif lebih tinggi pada daerah bagian bawah lapisan putih daripada di lapisan berwarna putih. Karbon cenderung akan larut-padat dalam fasa α (Fe) mencapai 0,021 % hingga pada suhu 723 °C. Karbon yang melampaui prosentase batas larut-padat tersebut cenderung akan bereaksi dengan besi (Fe) membentuk senyawa karbida besi. Baja paduan ini memiliki kadar karbon 0,4 % yang merupakan fasa *ferite* (α) di bawah suhu 600 °C. Sementara itu, pada daerah insitu bagian bawah permukaan lapisan putih teridentifikasi kadar karbon sekitar 7,87 %. Kondisi ini dengan merujuk kepada diagram fasa Fe-C memungkinkan pada daerah tersebut terbentuk fasa *pearlite*. Baja paduan ini mengandung unsur paduan, seperti Cr, V dan Mo. Unsur-unsur tersebut dapat bereaksi dengan N membentuk nitrida yang memiliki kekerasan yang tinggi pula. Pada lapisan putih dan di bawah lapisan putih terdapat unsur Cr dan Mo. Pada lapisan putih prosentase unsur Cr dan Mo relatif lebih rendah daripada di daerah bagian bawah lapisan putih, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.

Nitrogen dapat larut-padat dalam Cr pada suhu diatas 800 °C – 1640 °C mencapai 1,2 %. Krom nitrida (Cr_2N) dapat terbentuk dengan kadar 11,8 % N pada suhu di atas 800 °C. Karbon dapat larut-padat dalam Cr pada suhu di atas 1000 °C– 1534 °C mencapai 0,07 %. Krom karbida akan terbentuk dengan kadar karbon di atas 6,5 % di atas suhu 1000 °C. Nitrogen dapat larut-padat dalam Mo pada suhu di atas 400 °C - 1800 °C mencapai 0,16 %. Nitrida (Mo_2N) sebagai fasa β dapat terbentuk

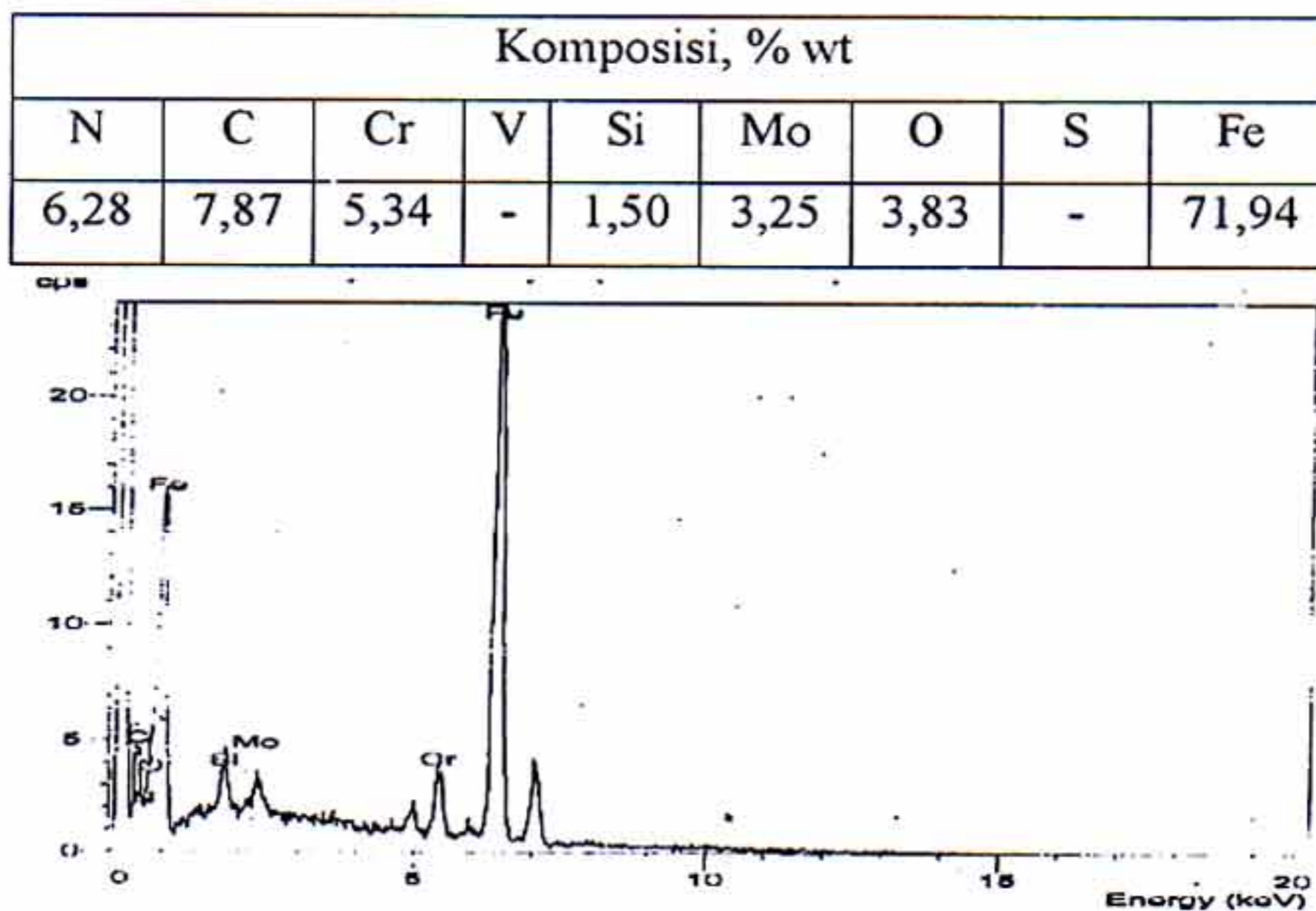
dengan kadar nitrogen 5,6 –7 % pada suhu di atas suhu kamar dan Mo_2N sebagai fasa γ dapat terbentuk dengan kadar nitrogen berkisar 5,1 – 7 % pada suhu di atas 850 °C. Berdasarkan analisis di atas yang merujuk kepada diagram kesetimbangan fasa [9,10] terlihat bahwa kemungkinan terbentuknya nitrida dari unsur paduan Cr dan Mo relatif kecil dan demikian pula pembentukan karbida. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa pembentukan nitrida dan karbida berlangsung pada suhu tinggi diatas suhu 800 °C, sedangkan proses perlakuan termokimia berlangsung pada suhu relatif rendah di bawah suhu 570 °C. Sementara itu, pembentukan nitrida molybdenum relatif kecil terjadi karena pembentukan Mo_2N sebagai fasa β dan γ membutuhkan prosentase Mo yang relatif besar.



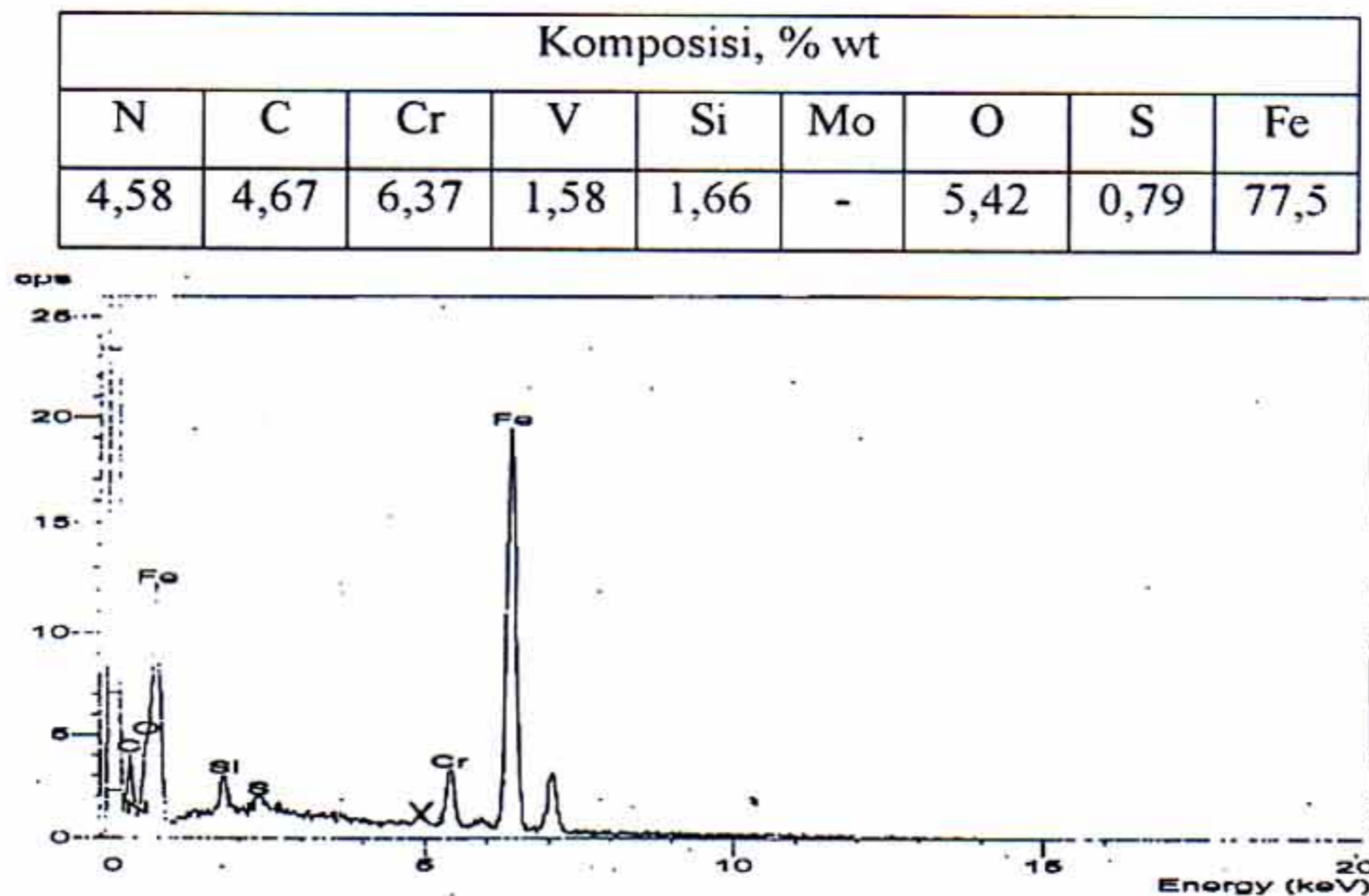
Gambar 2. Struktur mikro permukaan lapisan paduan baja hasil perlakuan termokimia, 1) lapisan putih, 2) dibawah lapisan putih, 3) semakin jauh dari lapisan putih



Gambar 3. Spektrum EDX pada lapisan putih (no.1 pada gbr.2) permukaan baja hasil perlakuan termokimia.



Gambar 4. Spektrum EDX pada bagian bawah lapisan putih (no.2 pada gbr 2) permukaan baja hasil perlakuan termokimia

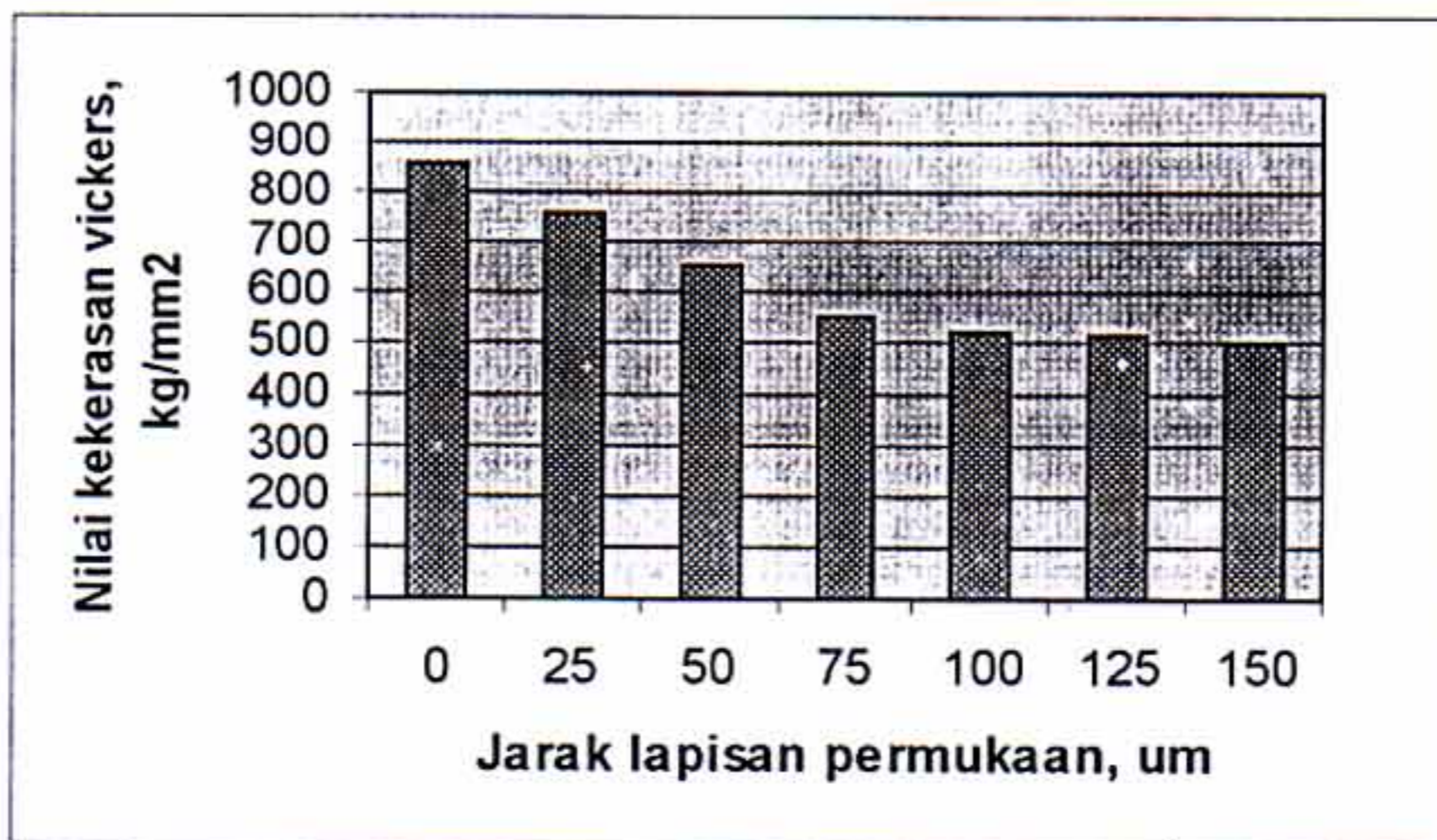


Gambar 5. Spektrum EDX pada bagian bawah lapisan putih (no.3 pada gbr.2) hasil perlakuan termokimia yang semakin jauh dari permukaan.

Pengujian kekerasan mikro pada variasi jarak senyawa lapisan nitrida dari permukaan ke bagian dalam baja paduan ditunjukkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 tampak bahwa terjadi peningkatan sifat kekerasan mencapai 71,8 % dibandingkan dengan sifat kekerasan bahan dasar paduan baja. Sifat kekerasan tersebut merupakan hasil pengamatan pada senyawa lapisan permukaan pertama yang relatif tinggi mencapai 859 kg/mm^2 . Hal ini dimungkinkan karena pada permukaan lapisan pertama telah terbentuk senyawa fasa nitrida yang ditandai dengan teridentifikasinya unsur N yang relatif tinggi mencapai 11,78 %. Nitrogen tersebut merupakan hasil proses difusi melalui permukaan yang berpenetrasi kebagian dalam baja. Nitrogen dengan kadar 11,78 % tersebut memungkinkan bereaksi dengan Fe membentuk besi nitrida (Fe_2N) yang sifatnya relatif keras. Selain itu, senyawa fasa δ (Fe_2N) yang relatif

keras ini tampak pada lapisan permukaan cenderung berwarna putih, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sifat kekerasan senyawa fasa nitrida pada permukaan baja paduan cenderung menurun seiring dengan semakin jauh dari permukaan lapisan putih hingga mencapai 516 kg/mm^2 pada jarak $125 \mu\text{m}$, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Sifat kekerasan lapisan menunjukkan bahwa pada permukaan lapisan pertama tampak relatif lebih tinggi daripada lapisan yang semakin jauh dari permukaan. Hal ini dimungkinkan karena lapisan permukaan yang terbentuk oleh proses perlakuan termokimia menghasilkan lapisan yang bervariasi dengan kadar nitrogen yang berpenetrasi ke dalam baja yang relatif berbeda. Kadar nitrogen yang terkandung dalam setiap lapisan yang berbeda akan menghasilkan senyawa fasa nitrida yang berbeda pula. Senyawa fasa nitrida yang berbeda akan sangat besar pengaruhnya terhadap kontribusi sifat kekerasan. Dengan kata lain, bahwa masing-masing fasa nitrida memiliki sifat kekerasan. Senyawa fasa δ (Fe_2N) yang terbentuk pada lapisan pertama memiliki sifat kekerasan yang relatif tinggi mencapai 859 kg/mm^2 . Sifat kekerasan menurun dengan semakin jauh jarak dari permukaan seiring dengan menurun kadar nitrogen. Penurunan sifat kekerasan dan menurunnya kadar nitrogen menunjukkan pula bahwa lapisan di daerah tersebut mengalami perubahan senyawa fasa. Sifat kekerasan fasa ϵ (Fe_3N) dengan kadar 8-10% nitrogen relatif lebih rendah dari pada fasa δ . Demikian pula sifat kekerasan fasa $\gamma + \epsilon$ ($\text{Fe}_4\text{N} + \text{Fe}_3\text{N}$) dengan kadar 6-8 % nitrogen relatif lebih rendah dari fasa ϵ dan fasa γ (Fe_4N) dengan kadar 5,7-6 % nitrogen relatif lebih rendah dari pada fasa ϵ . Sementara itu, sifat kekerasan fasa $\alpha + \gamma$ ($\text{Fe} + \text{Fe}_4\text{N}$) dengan kadar 0,1-5,7 % nitrogen cenderung mendekati sifat kekerasan bahan dasar baja paduan sebelum dikenai proses termokimia.



Gambar 6. Kekerasan terhadap jarak permukaan lapisan

KESIMPULAN

Senyawa lapisan nitrida pada permukaan baja yang terbentuk bervariasi sesuai komposisi dan konsentrasi N. Prosentase nitrogen pada lapisan berwarna putih relatif tinggi mencapai 11,78 % dan menurun dengan semakin jauh dari permukaan. Pada lapisan berwarna putih cenderung membentuk senyawa Fe_2N yang bersifat relatif keras. Pada daerah bawah lapisan berwarna putih cenderung membentuk senyawa Fe_4N+Fe_3N . Sifat kekerasan permukaan paduan baja hasil perlakuan termokimia selama 120 menit mengalami peningkatan relatif tinggi mencapai 71,8 %, yaitu berkisar 859 kg/mm^2 . Permukaan lapisan yang semakin jauh dari lapisan berwarna putih relatif lebih lunak dan sifat kekerasannya cenderung semakin menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap pihak atas bantuan yang diberikan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga tulisan ini dapat disajikan.