

BAB IV

DATA PENGUJIAN

4.1. Hasil Komposisi Kimia

Komposisi kimia material titanium di lakukan untuk mengkoreksi komposisi unsur pepadu yang mungkin tereduksi selama proses peleburan. Untuk pengujian komposisi kimia menggunakan metoda analisa basah menggunakan pengujian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Data hasil komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Data komposisi kimia sampel paduan Ti-Al-Mo/Nb

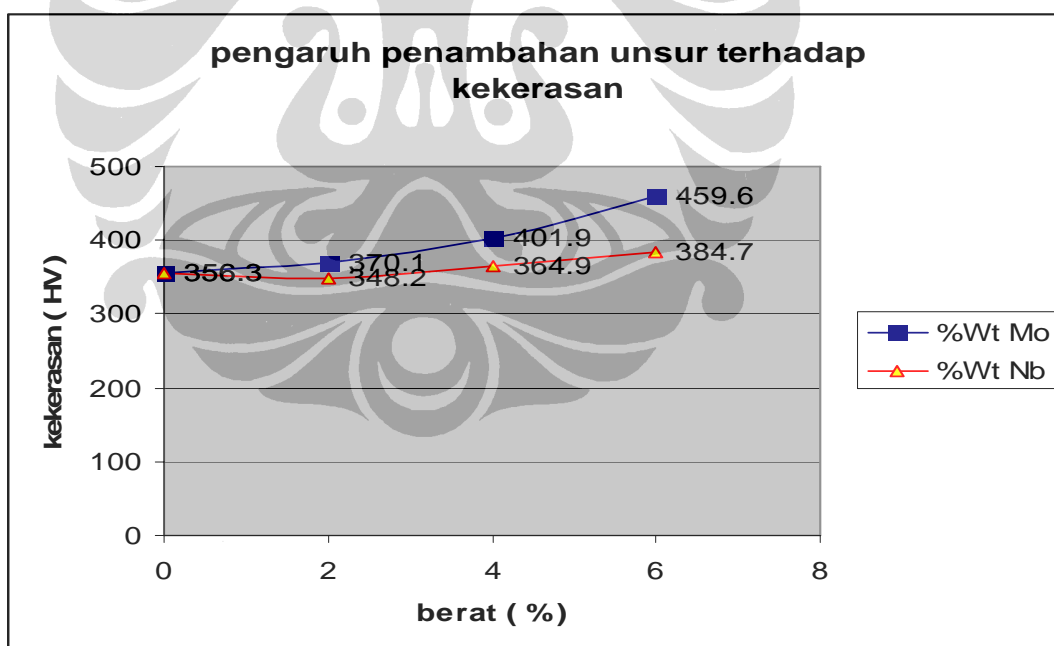
kode sampel	Al	Mo	Nb	Ti
	(%)			
1	5.95	0	0	balance
2	5.96	1.88	0	balance
3	5.95	3.93	0	balance
4	5.97	5.93	0	balance
5	5.98	0	0.96	balance
6	5.98	0	3.94	balance
7	5.96	0	6.93	balance

4.2. Hasil Uji Kekerasan

Untuk pengujian kekerasan dari specimen titanium menggunakan metoda Vickers. Hasil data uji kekerasan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

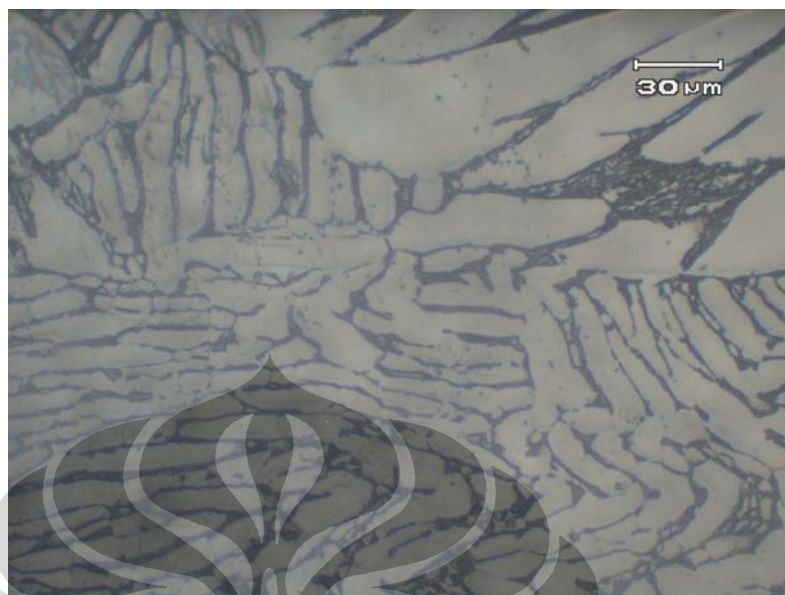
Tabel 4.2. Data hasil uji kekerasan

sampel	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata - rata
	Hv			
Ti-6Al	417.6	330.5	320.8	356.3
Ti-6Al-1Mo	385.9	362.2	362.2	370.1
Ti-6Al-4Mo	497.7	357.3	350.8	401.9
Ti-6Al-6Mo	527.6	430	421.3	459.6
Ti-6Al-1Nb	374.1	356.6	314	348.2
Ti-6Al-4Nb	404	330.5	360.2	364.9
Ti-6Al-7Nb	441	351.1	362.2	384.7

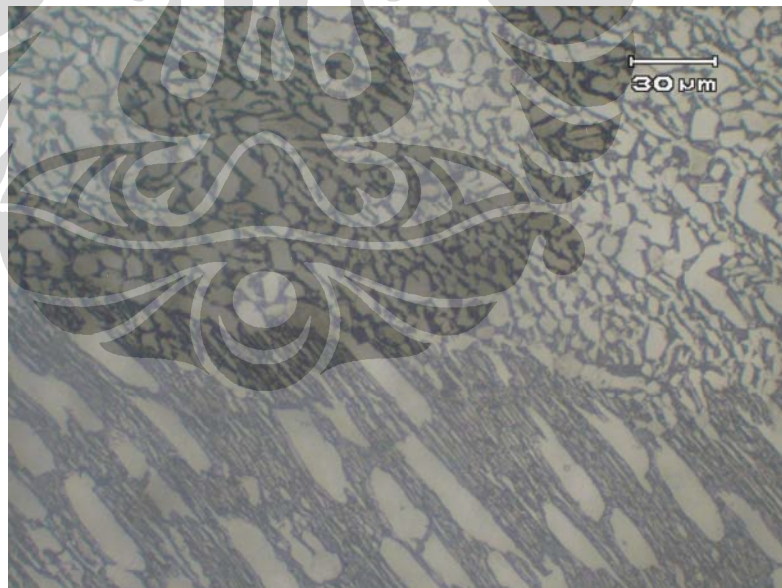


Gambar 4.1. Grafik pengaruh penambahan unsur Mo dan Nb terhadap nilai kekerasan

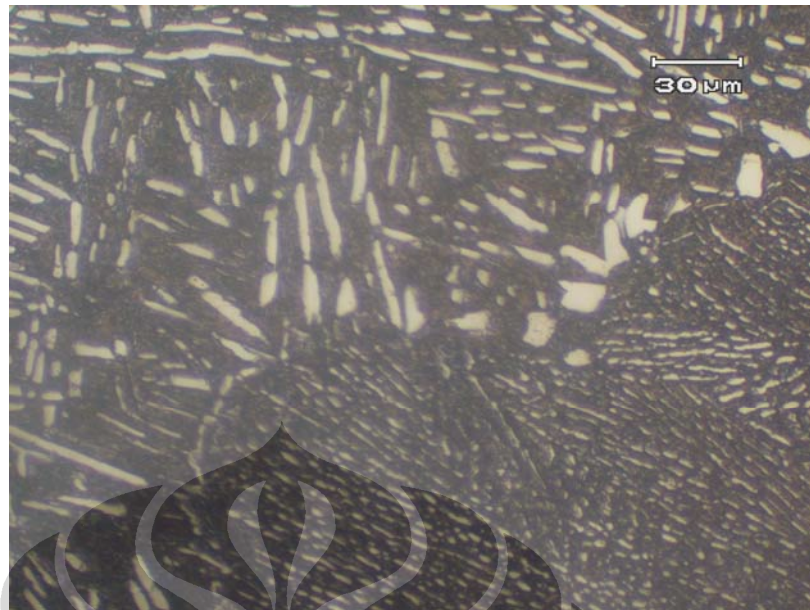
4.3. Foto Penampang Melintang (*Cross Section*)



Gambar 4.2. Struktur mikro penampang lintang Ti-6Al, etsa HF 3%, fasa α berwarna putih, fasa β berwarna gelap

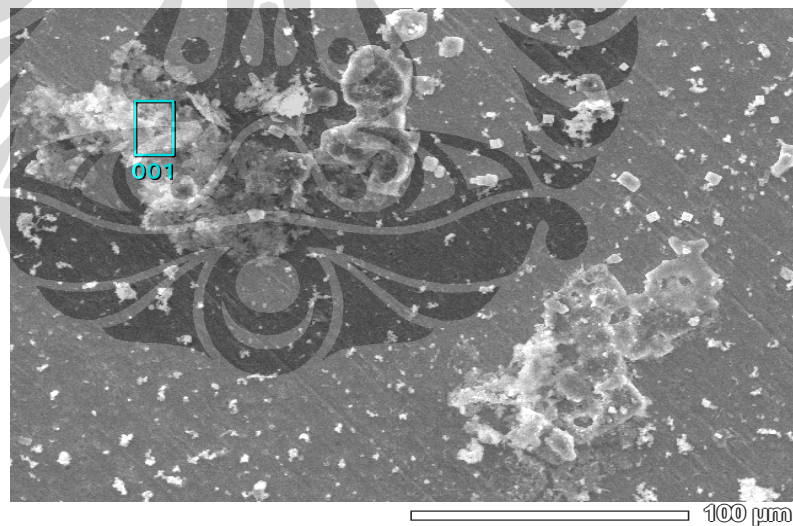


Gambar 4.3. Struktur mikro penampang lintang Ti-6Al-7Nb, etsa HF 3%, fasa α berwarna putih, fasa β berwarna gelap

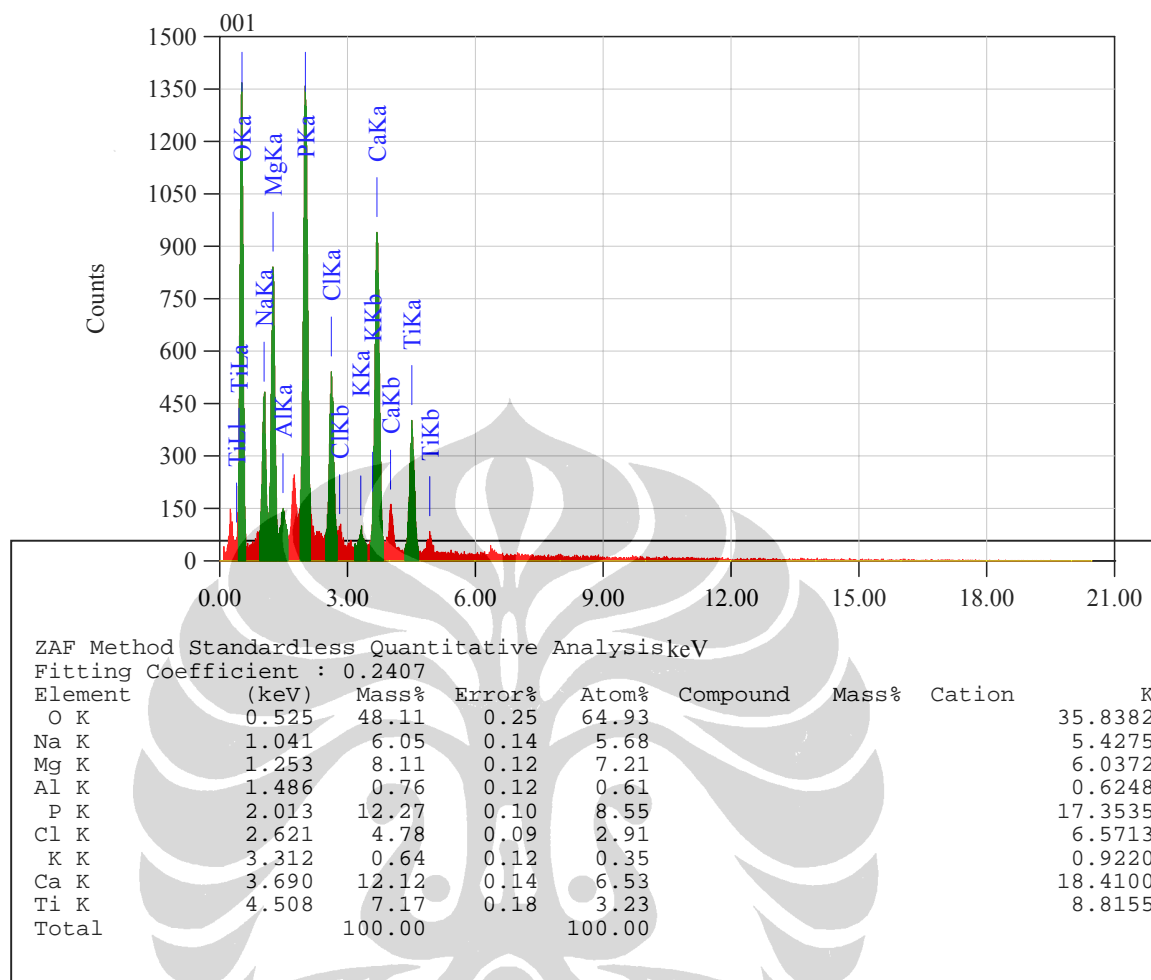


Gambar 4.4. Struktur mikro penampang lintang Ti-6Al-6Mo, etsa HF 3%, fasa α berwarna putih, fasa β berwarna gelap

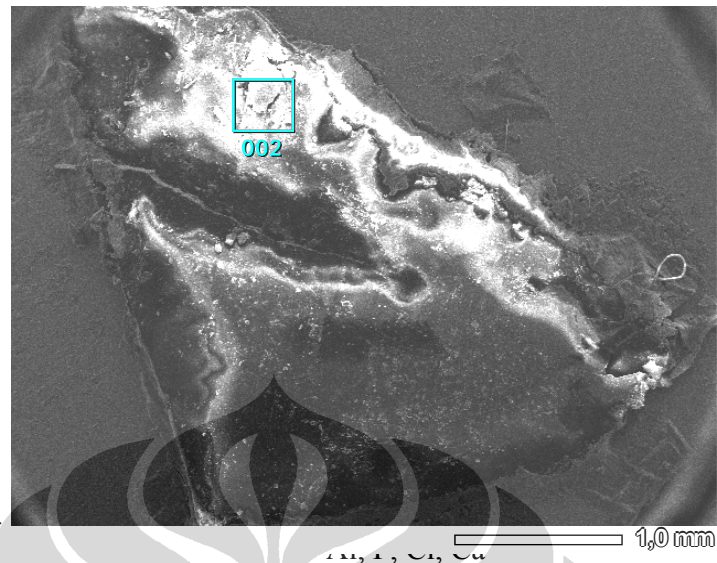
4.4. Hasil Pengujian SEM



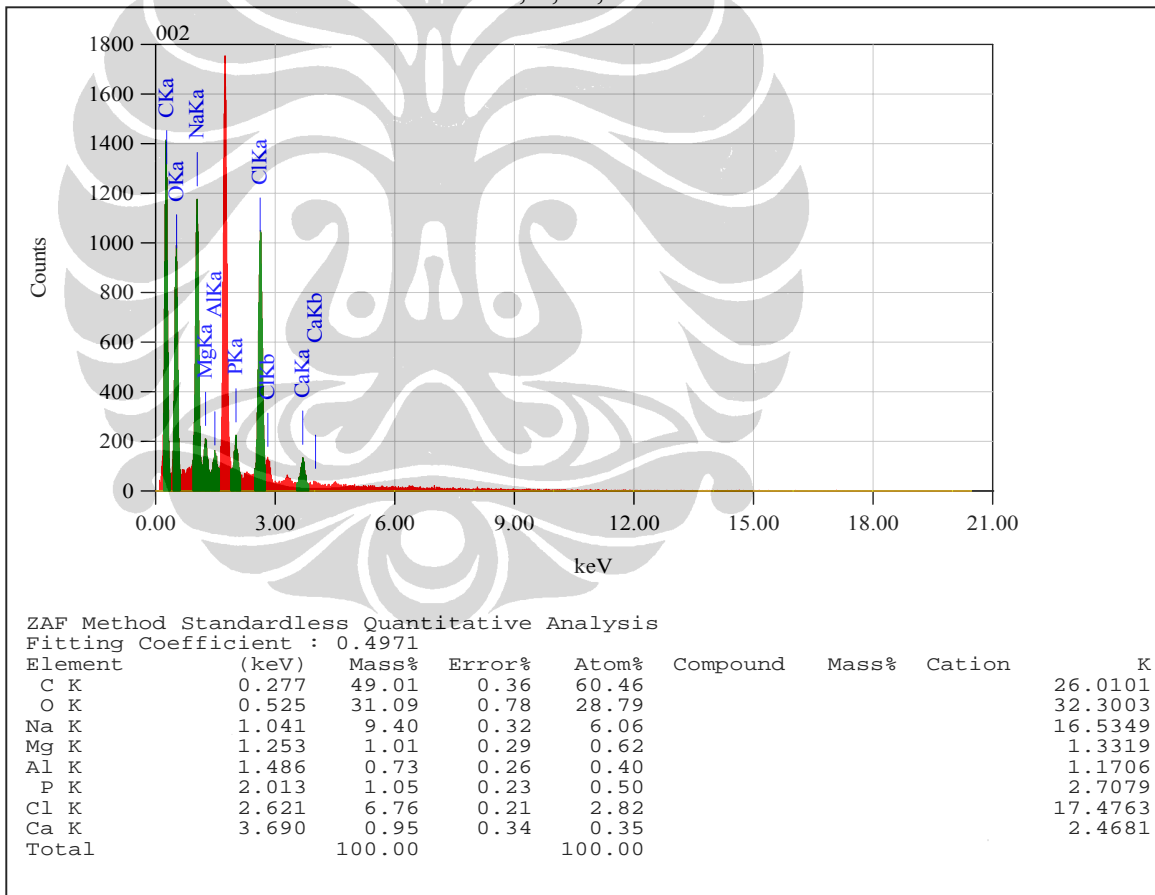
Gambar 4.5. Hasil pengujian SEM untuk sampel Ti-6Al-6Mo tampak unsur-unsur Ca, P, O, Cl, Mg, Na, Ti, K.



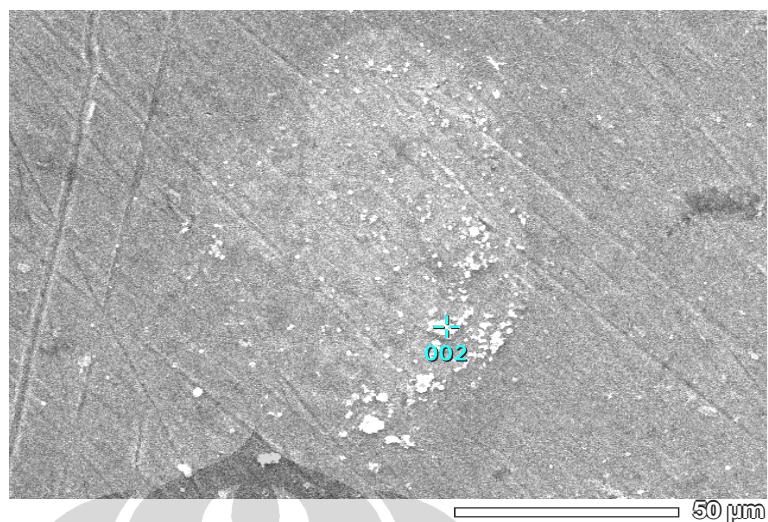
Gambar 4.6.. Hasil uji SEM – EDS untuk sampel Ti-6Al-6Mo



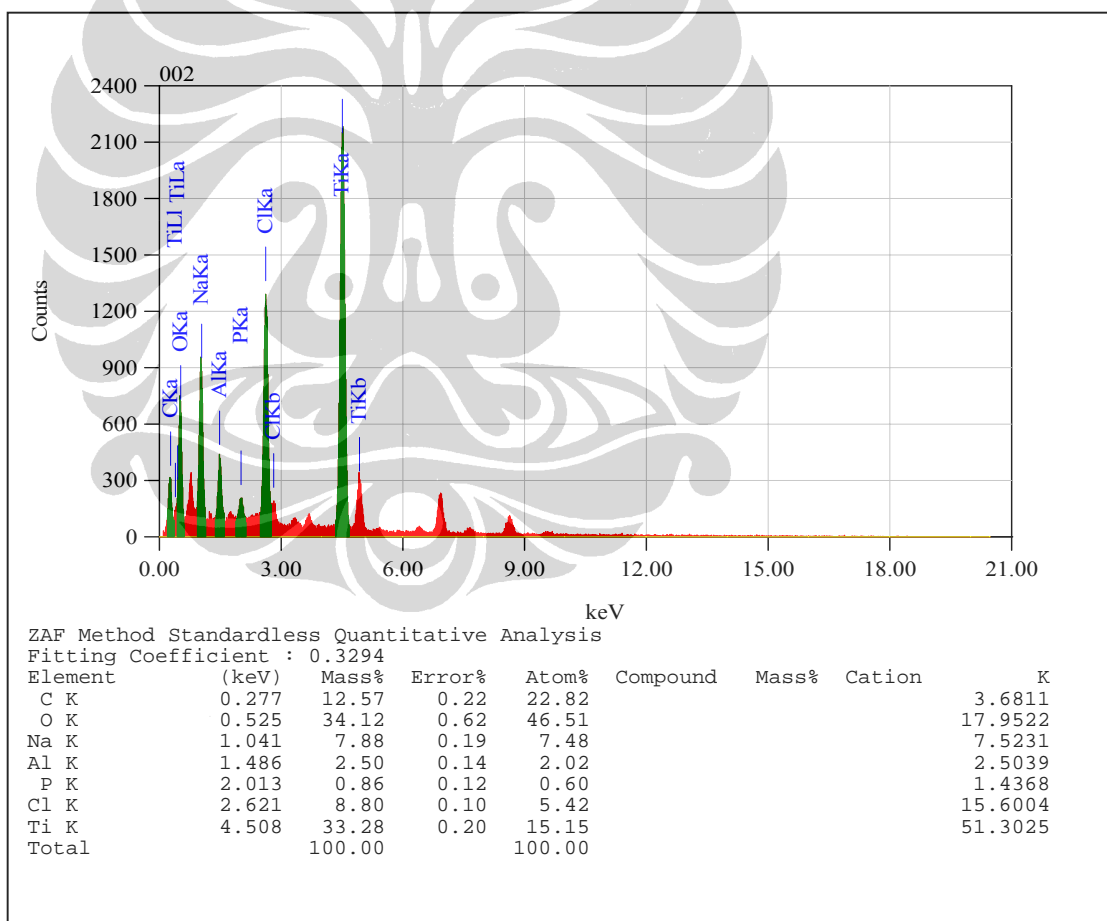
Gambar 4.7. Hasil SEM-EDS untuk sampel Ti-6Al-7Nb unsur C, O, Na, Mg,



Gambar 4.8. Hasil SEM-EDS untuk sampel Ti-6Al-7Nb



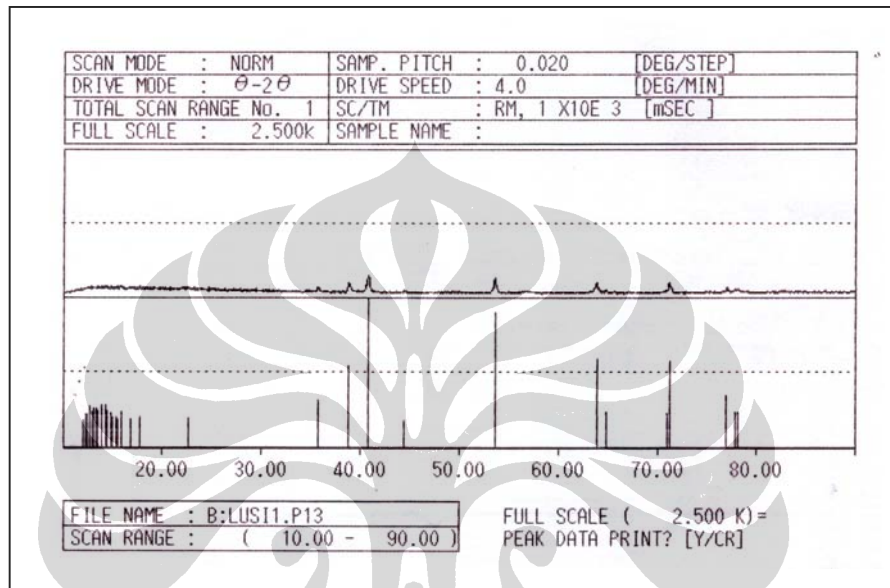
Gambar 4.9. Hasil uji SEM untuk sampel Ti-6Al, dapat dilihat unsur-unsur C, O, Na, Al, P, Cl, Ti



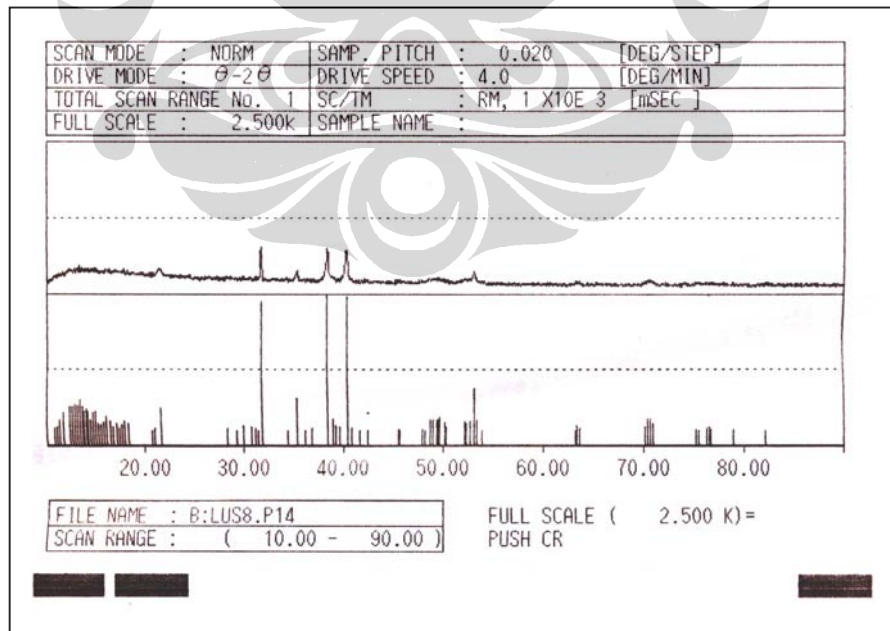
Gambar 4.10. Hasil SEM-EDS untuk sampel Ti-6Al

4.5. Data pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

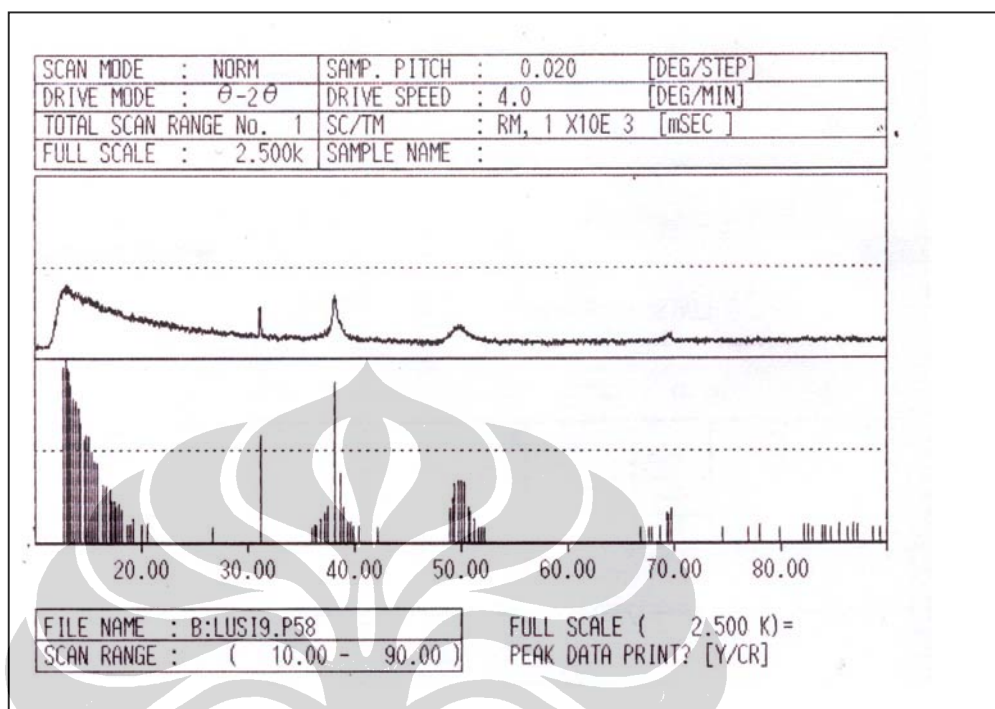
Hasil uji XRD didapat grafik seperti pada gambar 4.11, gambar 4.12, gambar 4.13, di bawah ini



Gambar 4.11. Hasil uji X-Ray Diffraction untuk sampel Ti-6Al



Gambar 4.12. Hasil uji X-Ray Diffraction untuk sampel Ti-6Al-6Mo



Gambar 4.13. Hasil uji X-Ray Diffraction untuk sampel Ti-6Al-7Nb

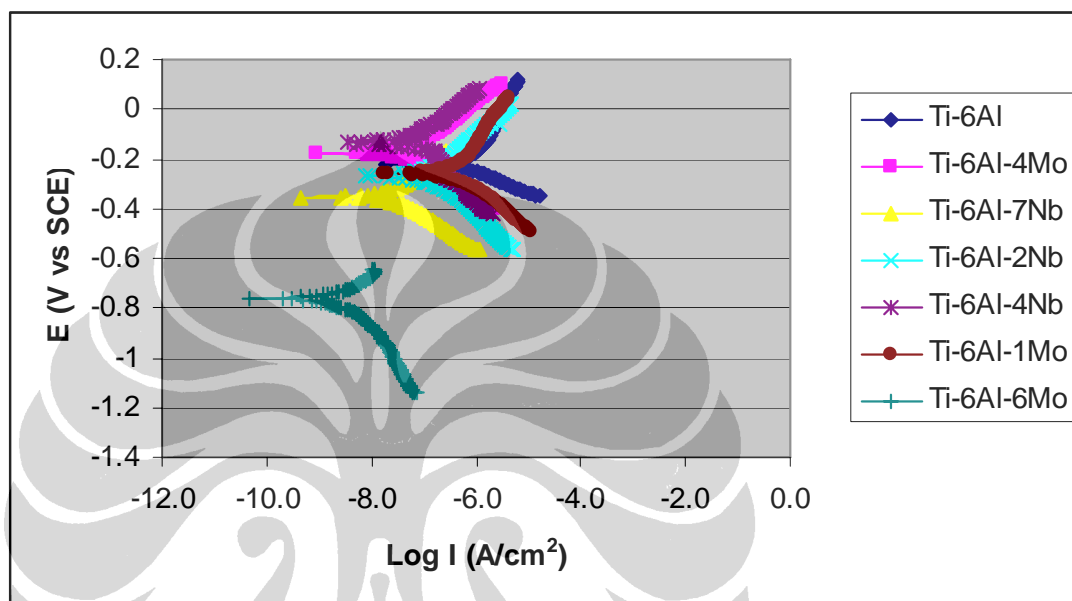
Dari hasil uji XRD didapat 2θ masing-masing bidang kristalin, kemudian dituangkan dalam bentuk tabel 4.3. dibawah ini.

Tabel 4.3 Data bidang *Crystalline* Senyawa-senyawa pada Titanium setelah pengujian *exposure* untuk $2\theta < 90$

sampel	Bidang kristalin unsur- unsur pada 2θ						
	29.9	30.6	31.7	36	38.7	63.5	63.7
Ti-6Al	-	-	-	-	Ti ₃ Al	-	TiO ₂
Ti-6AL-Mo/Nb	TiO ₂	TiO ₂	Ca ₅ (PO ₄) ₃	TiO		TiO ₂	-

4.6. Pengujian Polarisasi

Pengujian dengan Teknik Polarisasi Kurva polarisasi titanium dalam larutan darah sintesis ditunjukkan pada gambar 4.1

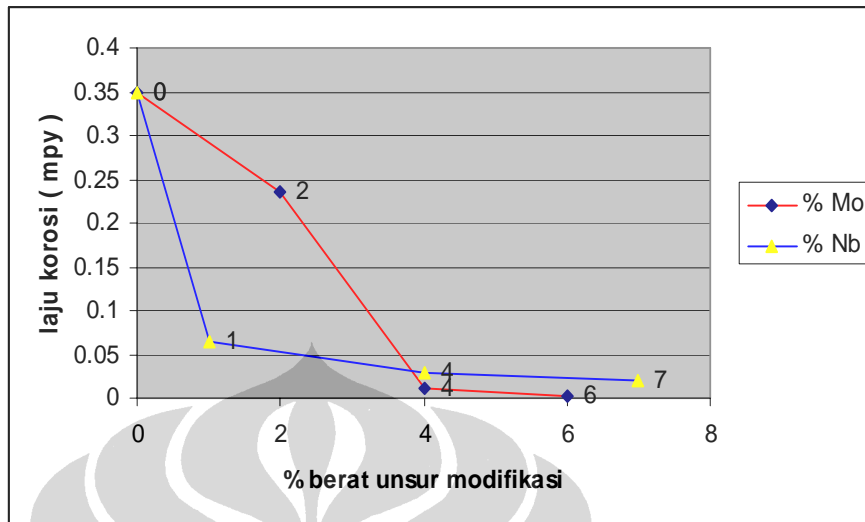


Gambar 4.14. Kurva hasil polarisasi titanium dalam larutan darah sintesis

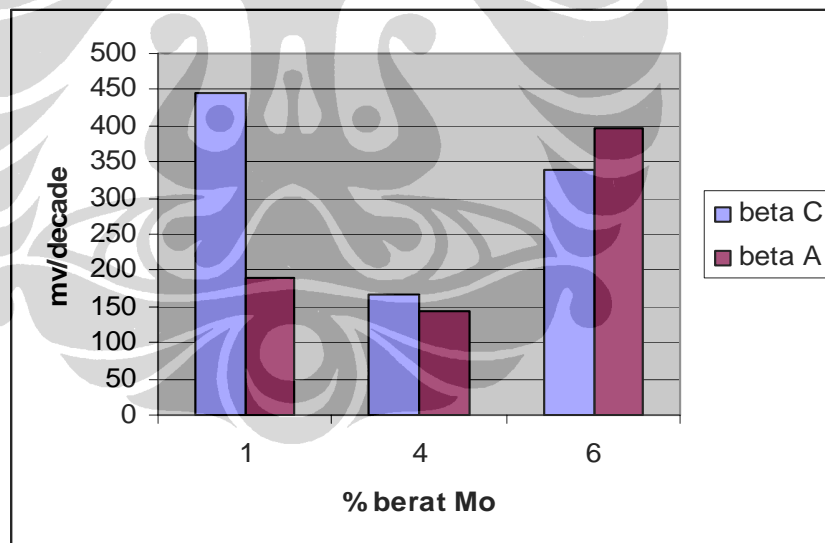
Hasil dari pengukuran polarisasi di peroleh E_{corr} , I_{corr} , Beta A, beta C, Corr Rate, dan dapat dilihat pada Tabel 4.4. di bawah ini.

Tabel 4.4. Data hasil pengukuran polarisasi titanium tanpa penambahan unsur modifikasi maupun dengan penambahan modifikasi

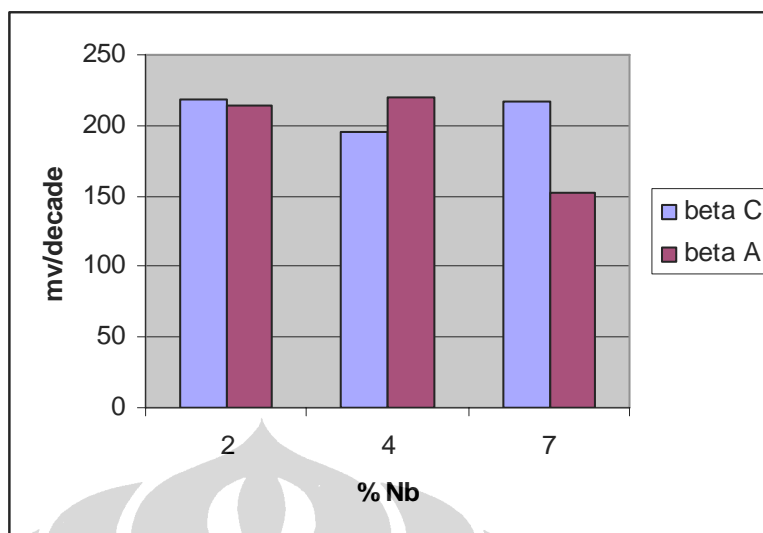
sampel	E_{corr} mV	I_{corr} A/cm ²	Beta C mV/Decade	beta A mV/Decade	Corr Rate, mpy
Ti-6Al	-219.9	1.030E-06	125.9	445.1	0.350
Ti-6Al-1Mo	-259.3	6.930E-07	190.5	445.5	0.235
Ti-6Al-4Mo	-179.1	5.944E-08	143.4	167.4	0.021
Ti-6Al-6Mo	-763.2	7.005E-09	395.9	339.6	0.002
Ti-6Al-1Nb	-268.6	1.903E-07	214.0	218.4	0.065
Ti-6Al-4Nb	-133.5	8.253E-08	219.8	195.1	0.028
Ti-6Al-7Nb	-355.1	3.718E-08	152.0	216.8	0.012



Gambar 4.15. Kurva laju korosi vs % berat unsur modifikasi



Gambar 4.16. Kurva perbandingan beta A dan beta C terhadap % berat Mo



Gambar 4.17. Kurva perbandingan beta Adan beta C terhadap % berat Nb

4.7. Pengujian Immersi

Sebelum dilakukan penimbangan, terlebih dahulu dilakukan *chemical cleaning*. Larutan yang digunakan pada proses ini adalah 100 mL HNO₃ dan 20 mL HF dilarutkan dengan penambahan aquades ke dalam gelas kimia 1000 mL. Proses *cleaning* memakan waktu 5 menit pada temperatur 25 °C (Sesuai standard ASTM G 1)²⁶.

Laju korosi berdasarkan pengujian konvensional seperti ini dapat dihitung dengan teknik pengukuran berat yang hilang (*weight loss measurement*) menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{534 \cdot W}{D \cdot A \cdot T} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

W = berat yang hilang (mg)

D = densitas (g/cm³)

A = luas ter-*exposed* (in²)

T = waktu *exposure* (jam)

Tabel 4.5. Perhitungan laju korosi spesimen-spesimen yang di-exposed dalam larutan darah sintetis pada pH 7,4 dan 37 °C

mgg	Kehilangan berat (mg)	Luas Perm. (mm ²)	Tebal (mm)	Luas (in ²)	Waktu (jam)	Laju Korosi (mpy)
1	0.004	584	1.7	0.73	168	0.003
2	0.0038	545	2.6	0.58	336	0.001
3	0.0013	486	1.9	0.55	504	0.0004
4	0.001	455	1.7	0.58	672	0.0006

4.8. Data Kelayakan *Biocompatibility*

Pengujian kelayakan *biocompatibili* dilakukan dengan metoda Analisa Basah (*Chemical Analysis*) yang menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) diperoleh data – data pada tabel 4.6. di bawah ini.

Tabel 4.6. Kadar ion-ion terlarut dari spesimen titanium yang dikorosikan (*exposure*) dalam larutan darah sintetis pada pH 7,4 pada temperatur 37 °C minggu ke 4

unsur	Kadar ion terlarut (ppm)	Ambang batas maks. Toxicity CCR ₅₀ (ppm)
Fe	0.031	59.00
Mn	0.0004	15.00
Co	0	3.50
Ni	0.0004	1.10
Cr	0	0.06
V	0	0.03

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1. Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Dari hasil uji kekerasan dapat dilihat bahwa dengan penambahan konsentrasi Mo maupun Nb, nilai kekerasan terhadap material Ti-6%Al mengalami kenaikan.

Untuk nilai kekerasan material Ti-6%Al dengan penambahan unsur Mo dapat dilihat lebih tinggi dibandingkan dengan material Ti-6%Al dengan penambahan unsur Nb, hal ini disebabkan karena terbentuknya presipitasi fasa intermetalik di dalam fasa beta. Untuk nilai kekerasan material Ti-6%Al dengan penambahan unsur 1% Nb, terlihat nilai kekerasan turun, sedangkan penambahan 4% dan 7% Nb nilai kekerasannya naik. Hal ini disebabkan dengan konsentrasi yang rendah belum cukup membentuk fasa beta didalam matriks fasa alfa, sedangkan untuk konsentrasi yang tinggi kekerasan naik karena sudah terbentuk presipitasi $AlNb_3$ pada fasa beta²⁷⁾.

Kenaikan prosentase kekerasan Ti-6Al dengan penambahan 1% Mo, 4% Mo dan 6% Mo berturut-turut adalah 3.87%, 12.32% dan 25.7%. Sedangkan untuk penambahan 2% Nb mengalami penurunan 1.76%, sedangkan untuk penambahan 4% Nb dan 7% Nb berturut-turut adalah 2.47% dan 7.78%.

5.2. Pembahasan Foto Penampang Melintang (*Cross Section*)

Dari gambar 4.2. tampak bahwa fasa alfa (terang) lebih banyak dibandingkan dengan fasa beta (gelap). Sedangkan untuk gambar 4.3 dan 4.4. fasa alfa lebih sedikit dibandingkan dengan fasa beta. Hal ini disebabkan unsur Mo dan Nb merupakan

pembentuk fasa beta. Bentuk struktur mikro yang terjadi adalah lamellar alfa²⁸⁾, hal ini terjadi karena sebelumnya dilakukan proses *heat treatment*.

Dari pengamatan struktur mikro tidak tampak adanya korosi merata ataupun korosi sumur.

5.3 . Pembahasan Hasil Uji SEM

Dari hasil SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada gambar 4.5 terlihat bahwa ada larutan darah sintesis terdeposit di permukaan Ti-6Al-6Mo . Dari hasil EDS dapat terlihat bahwa unsur-unsur yang ada pada deposit tersebut adalah Ca, P, O, Na, Mg, Cl.

Dari gambar 4.7. terlihat juga deposit yang lebih tebal dan menggumpal dibandingkan dengan sampel Ti-6Al-7Nb berwarna putih. Dari hasil EDS juga ditunjukkan kandungan unsur yang sama yaitu Ca, P, O, Na, Mg, Cl, yang merupakan unsur pembentuk senyawa hidroksilapatit.

Dari gambar 4.9. terlihat lapisan yang sangat tipis dibandingkan kedua sampel di atas, dan unsur yang ada pada lapisan itu juga berbeda, yaitu Na, P, Cl, O, C, Ti. Dari hasil ini tidak terlihat unsur Ca.

Dengan semakin tingginya ketebalan oksida pada paduan titanium, maka mengakibatkan berkurangnya secara drastis kepasifan arus di dalam cairan fisiologis sehingga mencegah pelepasan ion titanium di dalam cairan badan²⁹⁾.

Senyawa hidroksilapatit itu sendiri berfungsi sebagai pelapis untuk merangsang penyatuan tulang dengan implan prostesis.

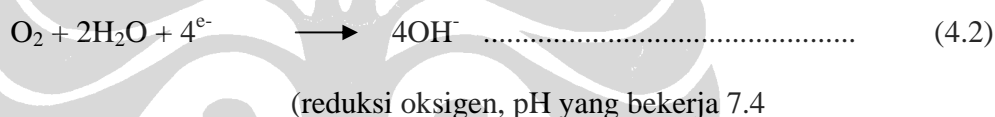
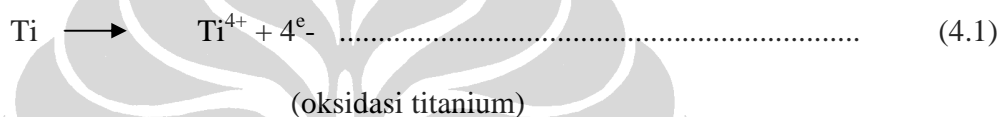
5.4. Pembahasan Data Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Dari Tabel 4.3 beberapa senyawa yang terbentuk setelah dilakukan uji imersi selama 4 minggu, secara keseluruhan senyawa yang terbentuk adalah :

1. TiO_2 disebut titanium dioksida
2. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ disebut *Hydroxylapatite*
3. TiO disebut titanium monoksida

Setelah diketahui beberapa produk korosi, maka dapat ditentukan beberapa reaksi yang terjadi selama proses korosi.

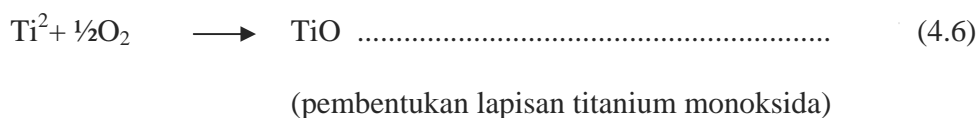
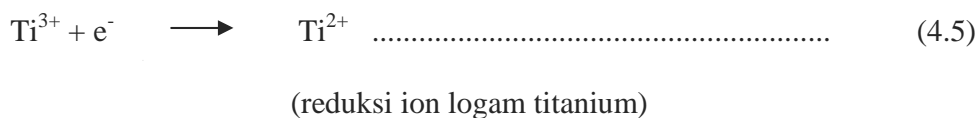
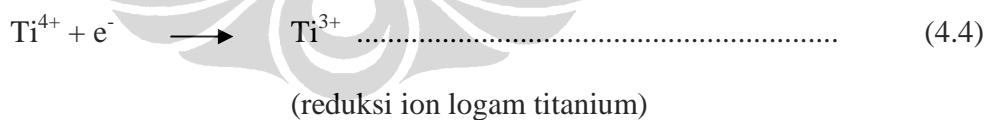
Reaksi oksidasi dan reduksi yang utama terjadi adalah ³⁰⁾ :



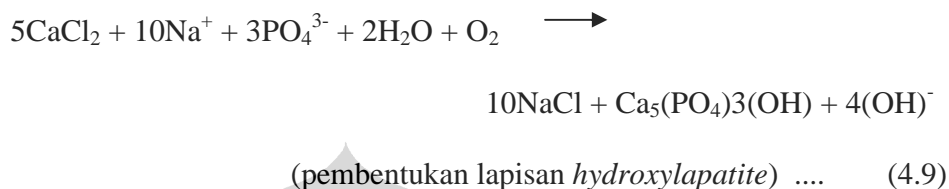
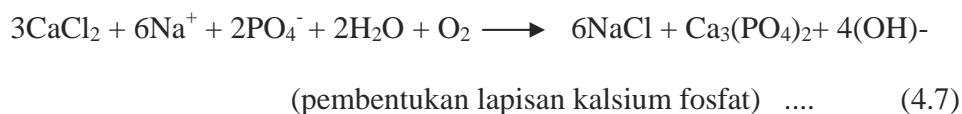
Pembentukan lapisan titanium dioksida yang umumnya terjadi yaitu:



Jika terjadi pembentukan lapisan titanium monoksida, maka reaksi :



Senyawa yang dapat terbentuk melalui reaksi reduksi oksidasi diantaranya :



Dari hasil XRD dapat terlihat bahwa di permukaan sampel Ti-6Al-6Mo dan Ti-6Al-7Nb terbentuk senyawa kristal hidroksilapatit dimana $2\theta = 31.7$, sedangkan sampel Ti-6Al membentuk Ti_3Al terbentuk pada $2\theta = 38.7$.

Dari hasil pengamatan XRD ini menunjukkan bahwa senyawa hidroksilapatit merupakan kristal yang dapat merangsang pertumbuhan tulang.

5.5. Data Pengujian Potensiodinamik

5.5.1. Hasil analisa Tafel

Dari hasil tafel ditampilkan juga harga Beta C dan Beta A. Beta A dan Beta C adalah menyatakan kemiringan dari garis linier hasil ekstrapolasi pada kurva polarisasi. Beta A menunjukkan kinetika reaksi anodik dan Beta C menunjukkan kinetika reaksi katodik. Hal ini mempunyai arti bahwa jika harga Beta C lebih rendah daripada Beta A maka reaksi anodik lebih besar daripada reaksi katodik sehingga logam lebih akan mudah terkorosi (karena rapat arusnya kecil). Dari Gambar 4.16 dimana sampel untuk % berat Mo didapatkan harga semua Beta A lebih kecil daripada harga Beta C-nya, hal ini mempunyai arti

bahwa sampel Ti-6Al-2Mo dan Ti-6Al-4Mo lebih katodik sehingga tidak terjadi korosi. Sedangkan untuk Ti-6Al-6Mo beta C lebih rendah dibandingkan dengan beta A yang berarti reaksi anodik lebih besar dibandingkan dengan reaksi katodik sehingga lebih mudah di serang korosi. Sebenarnya terkorosi namun produk korosi yang ada merupakan lapisan passive TiO_2 dan hidroksil apatit yang justru melindungi logam titanium terhadap gangguan dari lingkungan.

Dari gambar 4.17 untuk sampel Ti-6Al-2Nb, harga beta C tidak terlalu jauh tinggi dibandingkan dengan harga beta A berarti reaksi anodik yang bekerja, sedangkan untuk sampel Ti-6Al-4Nb dan Ti-6Al-7Nb nilai beta C lebih rendah dibandingkan dengan beta A, berarti lebih mudah korosi. Tetapi sebenarnya produk korosi yang terjadi merupakan suatu lapisan yang justru membuat logam itu terlindungi dari serangan luar.

5.5.2. Laju korosi

Dari hasil pengujian potensiodinamik terlihat bahwa terjadi perbedaan laju korosi. Pada gambar 4.15 dapat dilihat laju korosi sampel tanpa penambahan unsur modifikasi laju korosi cukup tinggi yaitu sekitar 0.350 mpy. Untuk penambahan sampai 1%Mo laju korosinya turun menjadi 0.235 mpy, tetapi setelah penambahan lebih dari 4%Mo laju korosinya turun drastis menjadi 0.021 mpy, karena sudah terbentuk lapisan pasif, sedangkan untuk penambahan 6%Mo menjadi 0.002 mpy. Untuk sampel dengan penambahan 2%Nb laju korosinya turun secara drastis yaitu sebesar 0.065 mpy kemudian penambahan 4%Nb laju korosi menjadi 0.028 mpy, dan 7%Nb laju korosi tidak terlalu jauh turun yaitu

0.012 mpy agak cenderung stabil, karena sudah terbentuk lapisan pasif. Disini terlihat bahwa dengan penambahan sedikit Nb, laju korosi menjadi turun drastis dibandingkan dengan penambahan Mo.

5.6. Pembahasan Hasil Uji Immersi

Dari hasil uji immersi 1 minggu (168jam) di peroleh kecepatan korosi 0.003mpy, kemudian setelah sampai 4 minggu (672 jam) kecepatan korosi menjadi turun sekali menjadi 0.0006mpy. Hal ini terjadi karena terbentuknya suatu lapisan yang pasif, sehingga laju korosi menjadi turun. Dengan menggunakan European Standardisation dimana suatu material implant harus memiliki nilai laju korosi kurang dari 0.475 mpy, maka sampel dengan modifikasi Mo dan Nb layak untuk menjadi material implant.

5.7. Pembahasan Data Kelayakan *Biocompatibility*

Dari tabel 4.6. terlihat bahwa ion-ion yang terlarut jauh berada di bawah ambang batas maksimum toxicity CCR₅₀. Untuk unsur Ni ion terlarutnya 0.0004 ppm, jauh dari ambang batas maksimum yaitu 1.10 ppm. Hal ini membuktikan bahwa dengan rendahnya kandungan unsur Ni, tidak akan menimbulkan alergi pada tubuh. Sedangkan unsur Cr ion terlarutnya 0 ppm, berarti material ini tidak menimbulkan racun di tubuh.

Dengan data kelayakan *biocompatibility*, sampel Ti-6Al dengan penambahan unsur Mo dan Nb layak untuk menjadi material implant.