

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Komposisi kimia

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia terhadap 2 (dua) sampel pelat kuningan 70Cu-30Zn, unsur-unsur utama seperti Cu, Zn, Ni dan Fe sudah sesuai persyaratan standar industri strategis. Hanya saja untuk kadar aluminium dibuat dua jenis komposisi sebagai bahan penelitian, yang pertama memenuhi persyaratan standar aluminium yaitu 0,00685% dari maksimum 0,03%, sedangkan yang kedua yaitu 0,16112% dari maksimum 0,03%, lebih lengkapnya lihat Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian komposisi kimia

No	Unsur	aluminium memenuhi syarat ($\leq 0,03\%$) (% wt)	aluminium melebihi syarat ($> 0,03\%$) (% wt)	Persyaratan standar Ind. (% wt)
1	Cu	69,75858	69,42995	69,5-72
2	Zn	30,05447	30,18515	Remainder
3	Al	0,00685	0,16112	Max 0,03
4	Fe	0,05761	0,10787	Max 0,05
5	Ni	0,08965	0,07765	Max 0,20
6	Sn	0,01608	0,01691	Max 0,03
7	Pb	0,00993	0,01063	Max 0,05
8	P	0,00172	0,00355	---
9	Si	---	---	---
10	Mn	---	---	---
11	S	0,00283	0,0033	---
12	Sb	0,00517	0,0063	Max 0,01
13	Mg	0,00033	0,00033	---

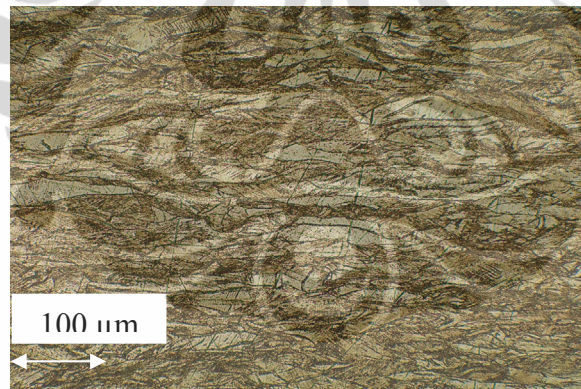
Di dalam kuningan 70/30 masing-masing unsur mempunyai peran sendiri-sendiri, karena unsur-unsur utama seperti Cu, Zn, Fe dan Ni sudah memenuhi persyaratan standar, maka yang akan dibahas hanya pengaruh unsur aluminium saja, menurut pihak industri pelat kuningan, mereka biasa menggunakan tambahan unsur aluminium, karena dapat membantu meningkatkan keenceran cairan logam kuningan, pada saat menuangkan kedalam cetakan. Kedua juga membantu menghilangkan gas-gas yang terperangkap dalam cairan logam, sehingga unsur aluminium ditambahkan sepanjang tidak melebihi persyaratan standar, akan tetapi dalam sampel ini ada kadar aluminium yang melebihi persyaratan standar dari maksimum 0,03%. Sebenarnya hal ini tidak disengaja, disebabkan penggunaan bahan baku aluminium baru yang tadinya berupa potongan pita-pita aluminium, digantikan dengan potongan bekas pelat aluminium, sehingga perhitungan kehilangan unsur aluminium pada saat peleburan belum diketahui dengan pasti^[8-10].

Asumsi kehilangan aluminium pada saat peleburan masih menggunakan bahan baku sebelumnya, padahal kenyataannya tidak sama. Aluminium di dalam cairan kuningan 70/30 dapat membentuk lapisan oksida untuk menjaga cairan logam bersih, dan mengurangi reaksi antara logam cair dengan permukaan cetakan, akan tetapi jika berlebihan dapat teroksidasi dengan cepat membentuk lapisan oksida dan inklusi, sehingga menyebabkan cacat pengecoran keropos, dan dapat menyebabkan produk coranya getas. Aluminium diketahui sebagai promotor pembentukan fasa β (beta yang keras dengan struktur kristal BCC) dalam paduan kuningan, karena penambahan 1% aluminium setara dengan penambahan 6% unsur seng (Zn). Jadi pada sampel dengan unsur aluminium yang melebihi persyaratan diatas 0,03% yaitu 0,16112% selisihnya yaitu 0,13112% hanya menambah unsur seng sebesar 0,007867% ditambah dengan 30,18515% jadi 30,19302%, masih jauh dari batas rentang maksimal kuningan 70/30 yaitu 33,6%, jadi fasanya masih tetap satu yaitu α (alfa dengan struktur kristal FCC), oleh sebab itu kadar aluminium dibatasi pada maksimum kadarnya 0,03% dari berat cairan logam yang akan dicor^[8-10].

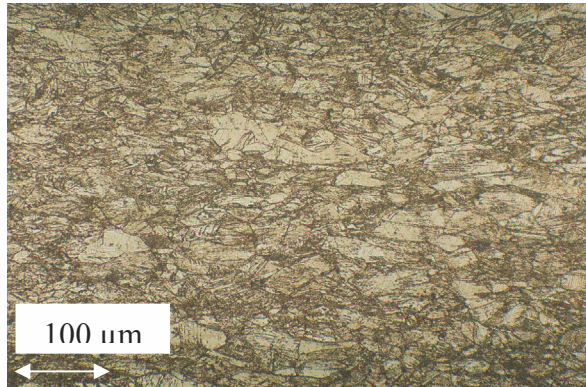
Kelebihan aluminium juga bisa berasal dari bahan baku peleburan lainnya seperti ingot seng atau scrap kabel tembaga, oleh sebab itu untuk mendapatkan komposisi kimia sesuai rentang persyaratan standar, semua bahan baku logam harus diuji komposisi kimianya terlebih dulu^[8-10].

4.2. Struktur mikro dan besar butir

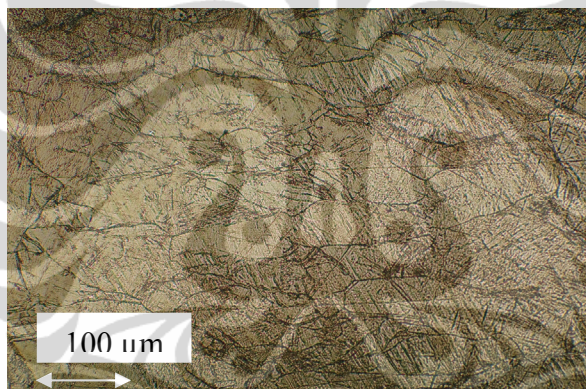
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), setelah pengerolan dingin struktur mikro pada posisi memanjang, menunjukkan butir pipih tipis memanjang dan di dalamnya sekilas terdapat garis-garis sejajar lihat Gambar 4.1, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir pipih kecil tebal mirip segi empat dan di dalamnya sekilas terdapat garis-garis sejajar lihat Gambar 4.2, dan pada posisi permukaan menunjukkan butir pipih besar tebal dan di dalamnya sekilas terdapat garis-garis sejajar lihat Gambar 4.3. Besar butir rata-rata 0,0635 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.1. Posisi memanjang menunjukkan butir pipih memanjang dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

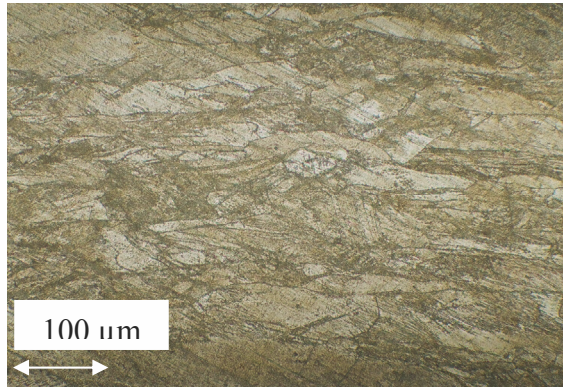


Gambar 4.2. Posisi melintang Menunjukkan potongan melintang butir pipih pada posisi memanjang dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

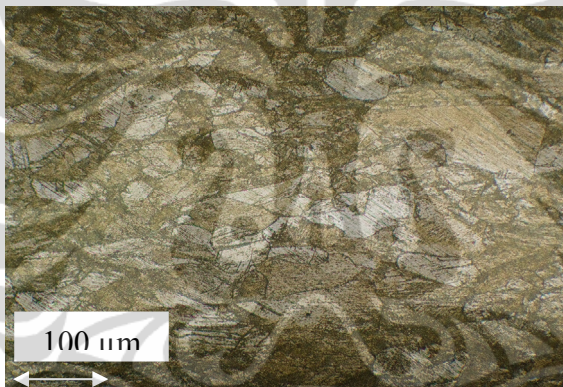


Gambar 4.3. Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas di dalam butir terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

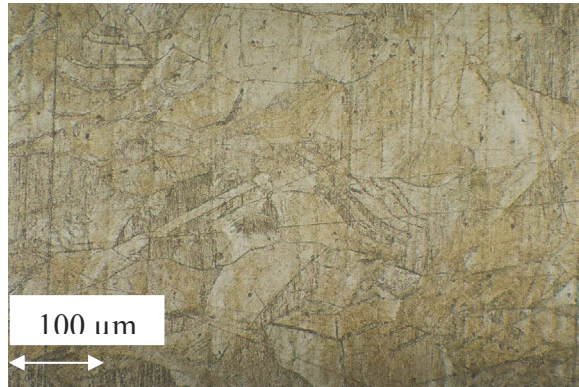
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$), setelah pengerolan dingin, pada posisi memanjang menunjukkan butir pipih besar tebal dan di dalam butir terdapat garis-garis lihat Gambar 4.4, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir pipih besar tebal dan di dalam butir terdapat garis-garis lihat Gambar 4.5, pada posisi permukaan menunjukkan butir pipih besar tebal dan di dalam butir terdapat garis-garis lihat gambar 4.6. Besar butir rata-rata $0,0675 \text{ mm}$ lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.4. Posisi memanjang menunjukkan butir pipih dan di dalamnya terdapat garis-garis hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



Gambar 4.5. Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih pada posisi memanjang di dalamnya terdapat garis2 hitam yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



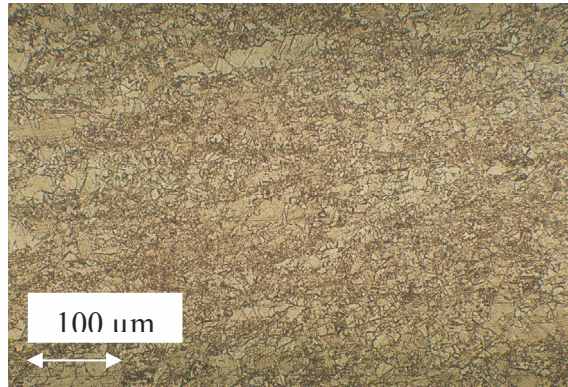
Gambar 4.6. Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas di dalam butir terdapat garis2 hitam, yang diduga menunjukkan kerapatan dislokasi. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

Setelah pengerolan dingin dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi maupun melebihi persyaratan kondisi struktur mikronya sama, merupakan ciri-ciri khas dari butir yang mengalami pembentukan dingin. Butir pipih memanjang akibat beban tekanan dari pengerolnya, melebihi kekuatan luluhnya tetapi masih dibawah kekuatan tarik maksimal yang disebut juga daerah plastis, sehingga butir mengalami perubahan bentuk permanen pada saat beban tekan dihilangkan. Secara mikro perubahan bentuk terjadi karena peluncuran antar butir melalui dislokasi, dengan semakin tingginya derajat deformasi maka bentuk butir semakin memipih, akibatnya dislokasi semakin sulit bergerak dan berkumpul di batas dan di dalam butir, dimana garis-garis hitam di batas butir maupun di dalam butir menunjukkan penumpukan dislokasi. Disamping itu terjadi peningkatan permukaan butir per volume, misalnya butir setelah pengerolan, setelah reduksi 50% luas permukaan butir meningkat 16%, setelah reduksi 90% luas permukaan meningkat lagi 270% dan setelah reduksi 99% luas permukaan menjadi 3267%. Hal ini menunjukkan bahwa luas batas butir baru akan terus menerus terbentuk ketika deformasi, dan ini dilakukan oleh penggabungan dislokasi yang terjadi ketika deformasi^[14,22,28-30,43].

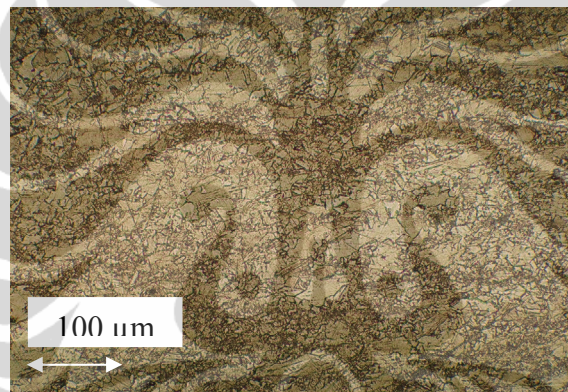
Ukuran butir pada saat pengerolan dingin baik itu pada sampel kondisi aluminium melebihi atau memenuhi standar, menunjukkan perbedaan yang tipis

yaitu 0,0040 mm, berturut-turut 0,0675 mm dan 0,0635 mm, kemudian pada saat di anil pada temperatur 500°C selama 3 menit besar butirnya menurun menjadi masing-masing 0,0159 dan 0,0138 mm berarti terjadi penurunan sekitar 0,0516 dan 0,0497 mm, disebabkan karena ukuran butir yang terekristalisasi tergantung dari besarnya deformasi, butir akan mengecil untuk deformasi yang besar. Jumlah inti atau kecepatan pengintian dipengaruhi oleh regangan dari pada kecepatan pertumbuhan, oleh karena itu regangan lebih tinggi akan didapatkan lebih banyak inti per satuan volume sehingga didapatkan ukuran butir yang lebih kecil. Batas butir merupakan tempat terbaik untuk pengintian, oleh karena itu ukuran butir awal yang besar menyebabkan tempat pengintian lebih sedikit, kecepatan pengintian rendah dan rekristalisasi lebih lambat atau terjadi pada temperatur lebih tinggi. Deformasi dan pita geser lebih mudah terbentuk di butir yang besar merupakan tempat inti rekristalisasi, yang akan meningkat dengan meningkatnya ukuran butir, oleh karena itu dengan meningkatnya inti rekristalisasi maka lebih banyak didapatkan besar butir kecil, kemudian dengan semakin tingginya regangan yang dialami oleh logam menyebabkan banyak terdapat inti untuk rekristalisasi atau kecepatan pengintian meningkat, akan menghasilkan ukuran butir yang kecil^[14,22,28-30,43].

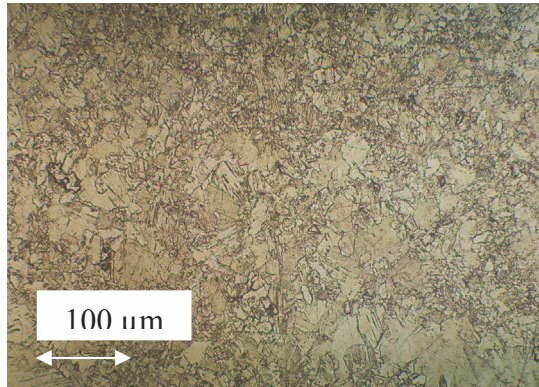
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah dianil temperatur 500° waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir pipih tebal memanjang masih ada, dan sebagian besar terekristalisasi dimulai dari pinggiran butir lihat Gambar 4.7, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir pipih kecil tebal segi empat dan di pinggiran butir terdapat butir terekristalisasi lihat Gambar 4.8, pada posisi permukaan menunjukkan butir pipih besar hampir bulat dan di pinggir butir terjadi rekristalisasi lihat Gambar 4.9. Besar butir rata-rata 0,0318 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.7. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir pipih memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

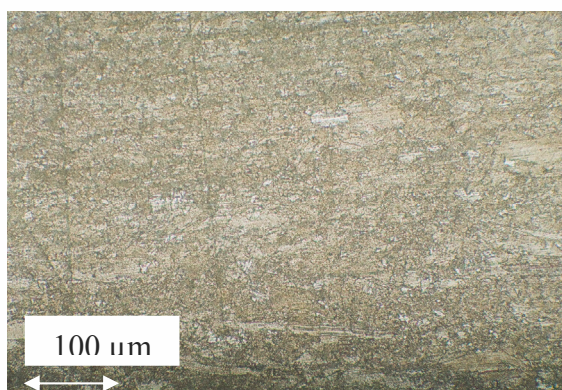


Gambar 4.8. Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih posisi memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

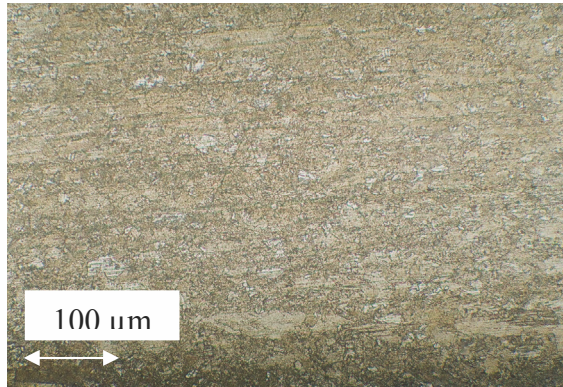


Gambar 4.9. Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

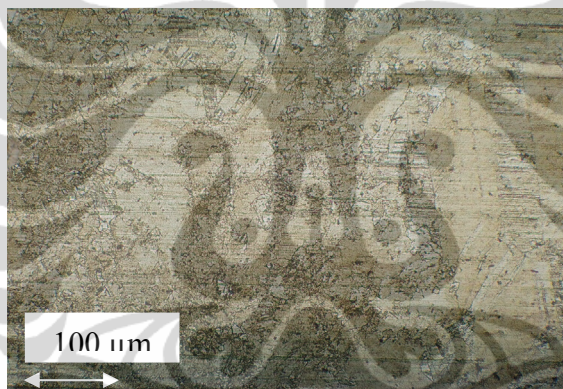
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$) pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah anil temperatur 500°C waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir pipih tebal kecil dan di batas butir terdapat butir terekristalisasi lihat Gambar. 4.10, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir pipih tebal dan sebagian besar butir terekristalisasi lihat Gambar. 4.11, pada posisi permukaan menunjukkan butir pipih besar tebal dan di pinggiran butir terjadi rekristalisasi butir lihat Gambar. 4.12. Besar butir rata-rata 0,0159 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.10. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir pipih memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



Gambar 4.11. Posisi melintang menunjukkan potongan melintang butir pipih posisi memanjang terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

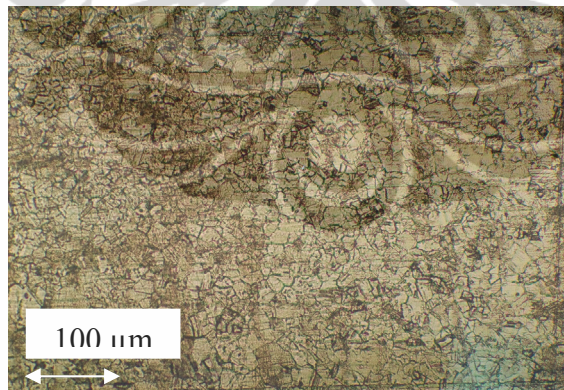


Gambar 4.12. Posisi permukaan menunjukkan potongan memanjang butir pipih dilihat dari atas terekristalisasi mulai dari batas butir. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

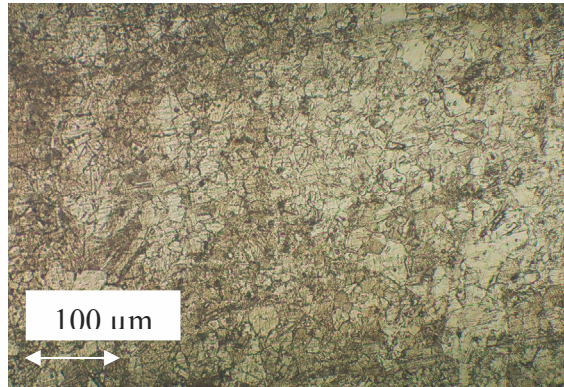
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), maupun melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$), pada anil cepat temperatur 500°C selama 3 menit ternyata struktur mikro menunjukkan masih terdapat butir pipih tebal, berarti masih dalam keadaan recovery dan rekristalisasi dimulai dari batas butir. Rentang temperatur anil untuk kuningan 70/30 yaitu $425-750^\circ\text{C}$, dimana pada penelitian ini akan dilihat pengaruh temperatur anil dibatas rendah yang diwakili temperatur 500°C , ternyata pada temperatur tersebut baru dapat merekristalisasi batas butir, karena salah satu

tempat pengintian rekristalisasi yaitu batas butir, kemudian waktu anilnya tidak mencukupi untuk merekristalisasi butir-butir, karena pengendalian rekristalisasi melalui aktivasi panas, jika temperatur anilnya rendah maka waktu anilnya harus lebih panjang. Pengintian dan pertumbuhan dapat terjadi lebih cepat pada temperatur yang lebih rendah, jika material mengalami derajat deformasi yang tinggi, karena deformasi akan meningkatkan jumlah energi tersimpan di dalam dan batas butir, sehingga jumlah pengintian yang terjadi juga semakin banyak, pertumbuhan terekristalisasi akan semakin cepat dan banyak^[14, 22,28-30,43].

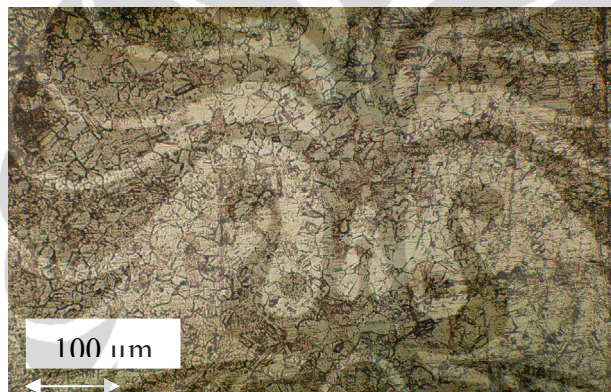
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah anil temperatur 600° waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir bulat tidak beraturan berarti butir telah mengalami rekristalisasi lihat Gambar 4.13, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir telah mengalami rekristalisasi lihat Gambar 4.14, pada posisi permukaan menunjukkan butir telah mengalami rekristalisasi lihat Gambar 4.15. Besar butir rata-rata 0,0506 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.13. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat berarti butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl₃.

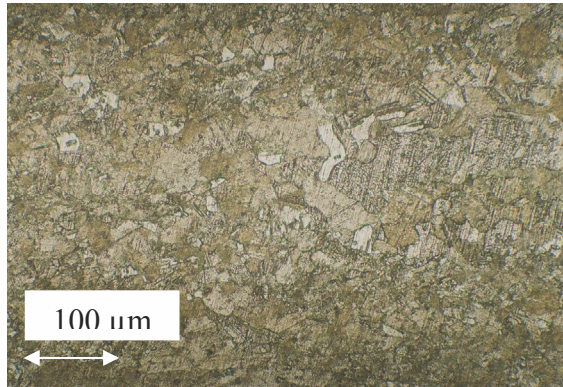


Gambar 4.14. Posisi melintang menunjukkan potongan butir melintang, butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

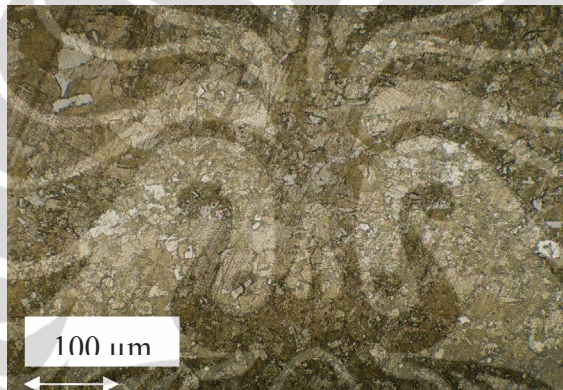


Gambar 4.15. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas, butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

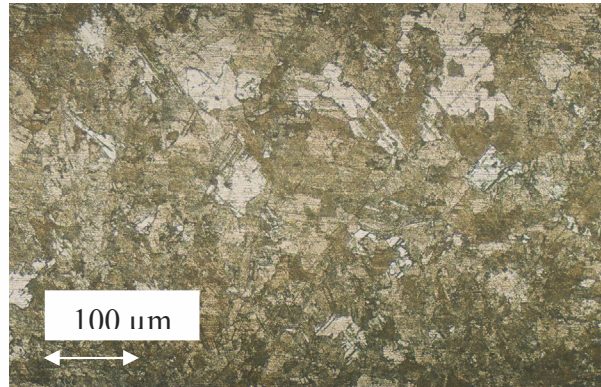
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$) sebagai berikut, pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah anil temperatur 600°C waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir mengalami rekristalisasi lihat Gambar. 4.16, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir mengalami rekristalisasi lihat Gambar. 4.17, pada posisi permukaan menunjukkan butir mengalami rekristalisasi lihat Gambar. 4.18. Besar butir rata-rata 0,0449 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.16. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat2 berarti butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



Gambar 4.17. Posisi melintang menunjukkan potongan butir posisi melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



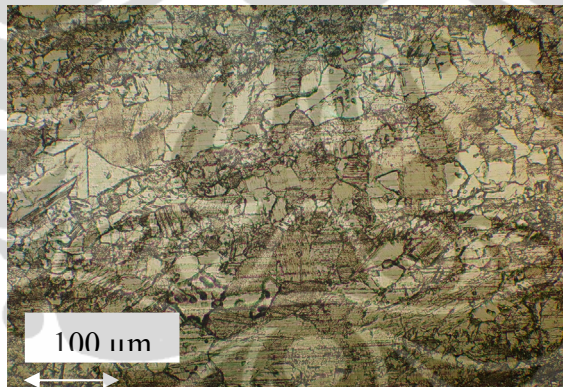
Gambar 4.18. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

Dari sampel kadar aluminium memenuhi maupun melebihi persyaratan menunjukkan struktur mikro yang sama, setelah anil temperatur 600°C waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir mengalami rekristalisasi dengan besar butir rata-rata 0,0449 dan 0,0506 mm terjadi perbedaan sekitar 0,0226 dan 0,0129 mm dari besar butir setelah deformasi dingin, disebabkan dengan temperatur anil 600°C berada di pertengahan antara rentang temperatur anil untuk kuningan yaitu $425\text{-}750^\circ\text{C}$, berarti temperatur rekristalisasi benar-benar optimal demikian juga waktu anilnya. Pada temperatur dan waktu anil 600°C dan waktu 3 menit benar-benar mampu mendorong inti-inti butir terekristalisasi, dan energi yang tersimpan akibat pengerjaan yang terdapat di batas dan dalam butir untuk tumbuh menjadi butir yang terekristalisasi (bebas tegangan), karena kecepatan pengintian dan pertumbuhan butir seimbang, sehingga didapatkan butir yang terekristalisasi merata baik itu di batas maupun dalam butir^[14,22,28-30,43].

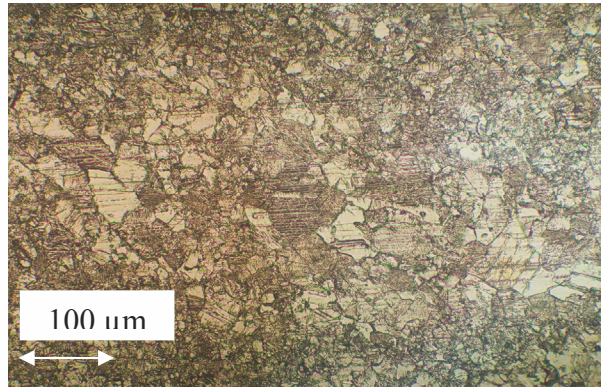
Ukuran butir pada saat pengerolan dingin baik itu pada sampel kondisi aluminium melebihi atau memenuhi persyaratan standar lebih tinggi yaitu berturut-turut 0,0675 dan 0,0635 mm, kemudian pada saat di anil pada temperatur 600°C selama 3 menit besar butirnya sedikit menurun menjadi masing-masing 0,0506 dan 0,0449 mm, disebabkan karena ketidak homogenan seperti deformasi dan pita geser, yang merupakan tempat pengintian lebih cepat terbentuk di butir kasar, akan meningkat dengan ukuran butir meningkat. Batas butir merupakan

tempat pengintian, oleh karena itu tempat pengintian lebih banyak untuk butir halus. Faktor seperti regangan tinggi atau ukuran butir awal kecil menyediakan inti banyak akan menghasilkan butir akhir kecil. Butir halus akan terekristalisasi lebih cepat dari butir kasar^[14,22,28-30,43].

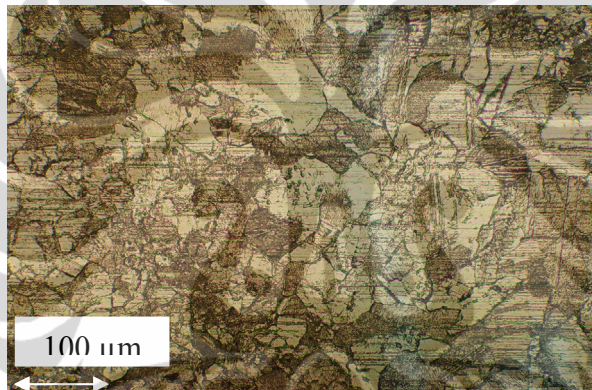
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah anil temperatur 700° waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir tumbuh membesar lihat Gambar. 4.19, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir terekristalisasi tumbuh membesar lihat Gambar 4.20, pada posisi permukaan butir terekristalisasi tumbuh membesar lihat Gambar 4.21. Besar butir rata-rata 0,0573 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.19. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir sudah tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

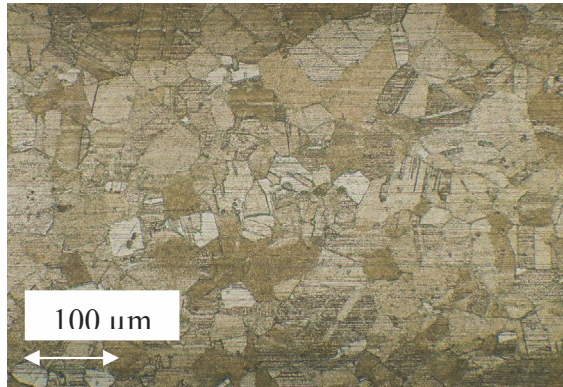


Gambar 4.20. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

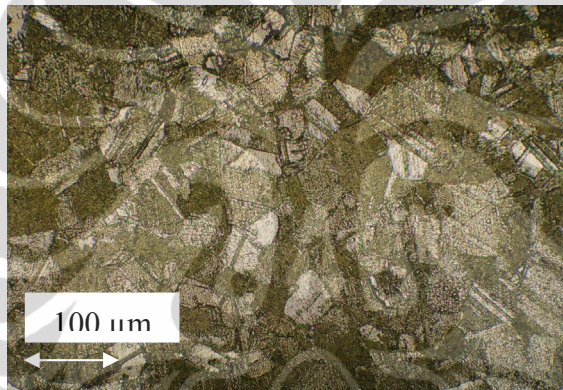


Gambar 4.21. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

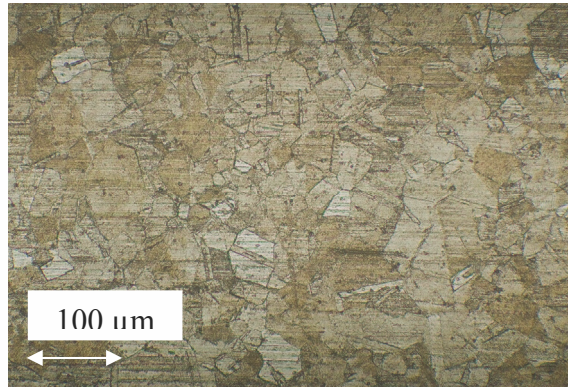
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$), pada pengamatan variasi temperatur 500, 600 dan 700°C dengan waktu anil tetap 3 menit. Setelah anil temperatur 700° waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi tumbuh membesar lihat Gambar. 4.22, kemudian pada posisi melintang menunjukkan butir terekristalisasi tumbuh membesar lihat Gambar. 4.23, pada posisi permukaan menunjukkan butir terekristalisasi tumbuh membesar lihat Gambar. 4.24. Besar butir rata-rata $0,0635$ mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.22. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3



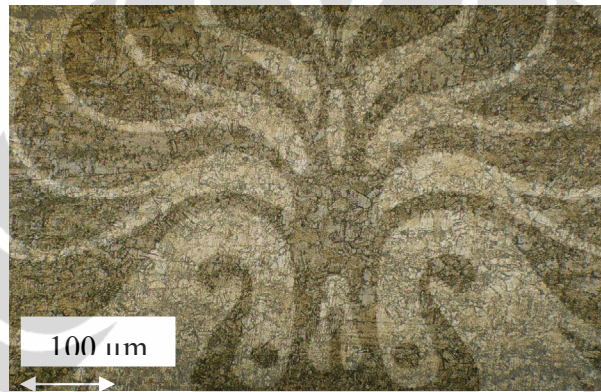
Gambar 4.23. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



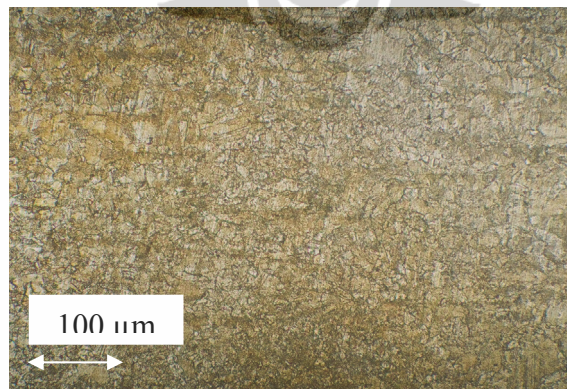
Gambar 4.24. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi dan melebihi persyaratan, setelah anil temperatur 700° waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu sebagian butir tumbuh membesar. Besar butir pada saat pengerolan dingin berturut-turut yaitu 0,0675 dan 0,0635 mm setelah dianil pada temperatur 700°C selama 3 menit berturut-turut 0,0573 dan 0,0635 mm terjadi perbedaan yang kecil yaitu 0,0062 dan 0,004 mm berarti terjadi pembesaran butir kembali, hal ini disebabkan temperatur 700°C terletak diakhir direntang temperatur anil antara 425 s/d 750°C , yang dikhawatirkan rekristalisasi berjalan semakin cepat akibat energi panas yang diberikan kepada energi deformasi yang tersimpan di batas maupun dalam butir semakin tinggi, sehingga mempercepat pertumbuhan butir yang dapat menghasilkan ukuran butir akhir semakin besar, dan hal ini tidak dikehendaki karena menurunkan kemampuan bentuk material, karena butir baru bebas tegangan jika dipanaskan melebihi temperatur yang dibutuhkan untuk rekristalisasi, ukuran butir akan meningkat progresif. Setelah rekristalisasi selesai proses pemanilan lebih lanjut meningkatkan ukuran butir yang dinamakan pertumbuhan butir. Gaya penggerak untuk pertumbuhan butir yaitu energi bebas batas butir, yang lebih kecil besarnya dari pada energi bebas untuk rekristalisasi^[14,22,28-30,43].

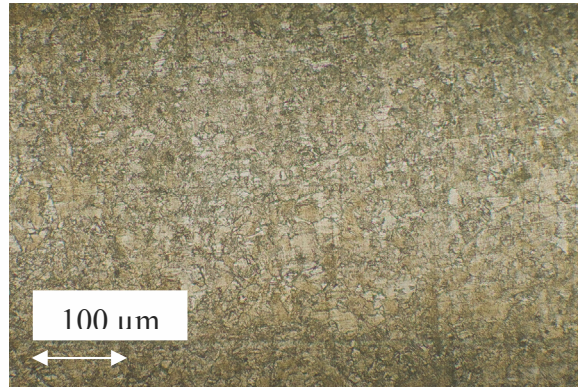
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C . Setelah anil temperatur 600°C waktu 2 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi kecil-kecil/halus dari pinggiran butir pengerjaan dingin yang masih tersisa lihat Gambar 4.25, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dipinggiran butir besar lihat Gambar 4.26, pada posisi permukaan menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dipinggiran butir besar lihat Gambar 4.27. Besar butir rata-rata $0,0477\text{ mm}$ lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.25. Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi kecil-kecil/halus, masih tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

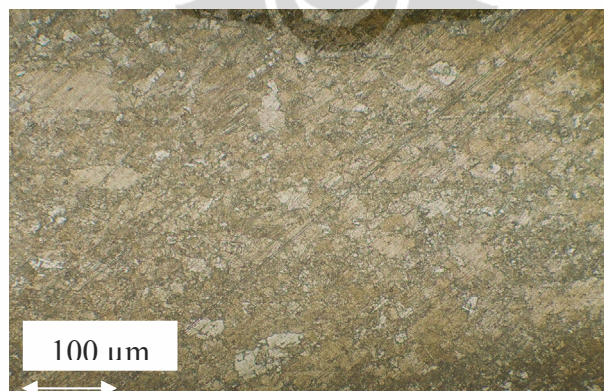


Gambar 4.26. Posisi melintang menunjukkan butir terekristalisasi kecil-kecil/halus, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

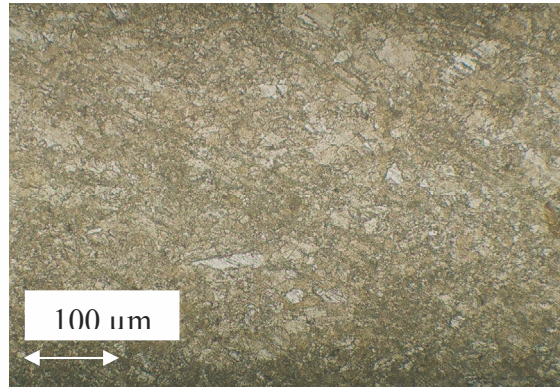


Gambar 4.27. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

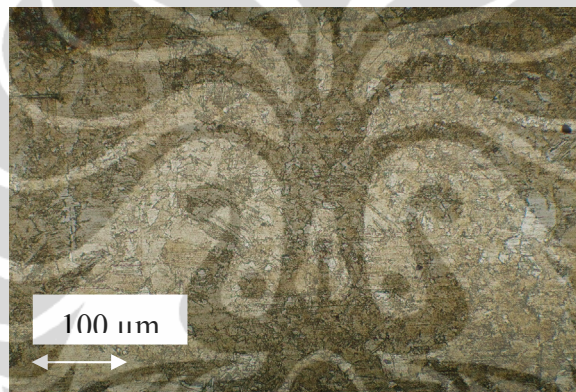
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$), pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C , setelah anil temperatur 600°C waktu 2 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dipinggiran butir besar lihat Gambar. 4.28, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dipinggiran butir besar lihat Gambar. 4.29, pada posisi permukaan menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dipinggiran butir besar lihat Gambar. 4.30. Besar butir rata-rata $0,0449 \text{ mm}$ lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.28. Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



Gambar 4.29. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

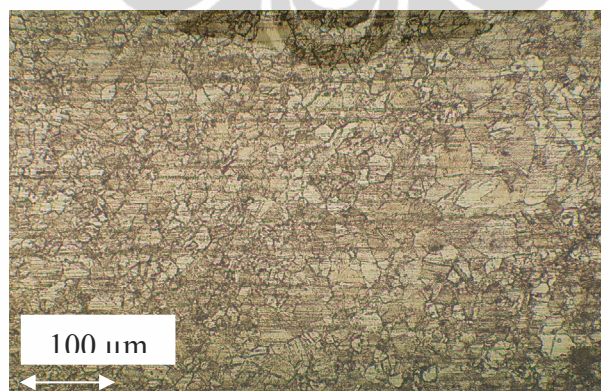


Gambar 4.30. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi, tersisa butir pengerjaan dingin. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

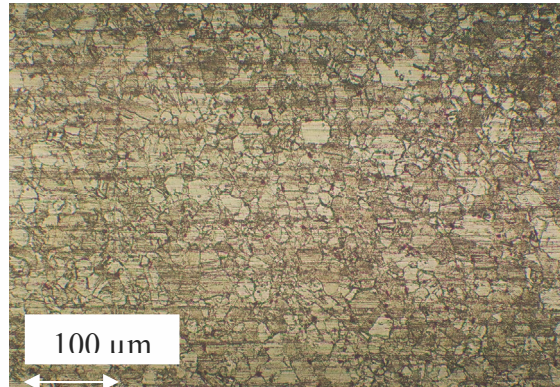
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi dan melebihi persyaratan, setelah anil temperatur 600° waktu 2 menit untuk melihat pengaruh waktu anil, pada posisi memanjang menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu butir telah terekristalisasi dan masih terdapat sisa butir terdeformasi diduga butir masih mengalami recovery. Temperatur 600°C berada dipertengahan rentang temperatur anil untuk kuningan 70/30 sehingga yang berpengaruh disini waktu yang optimal supaya semua butir yang mengalami deformasi dingin dapat terekristalisasi semuanya dengan normal, karena mekanisme pengendalian rekristalisasi oleh aktivasi termal, dimana rekristalisasi akan menurun dengan semakin lamanya waktu penganilan. Besar butir pada saat pengerolan dingin

berturut-turut yaitu 0,0635 dan 0,0675 mm setelah dianil pada temperatur 600°C selama 2 menit menjadi berturut-turut menjadi 0,0477 dan 0,0449 mm berarti terjadi penurunan sekitar 0,0158 dan 0,0226 mm berarti juga terjadi pengecilan butir yang diduga butir yang terekristalisasi. Waktu yang diberikan untuk rekristalisasi kurang, semakin lama waktu yang diberikan pada temperatur 600°C besar butir akan semakin besar, karena mekanisme pengendalian rekristalisasi melalui aktivasi termal, yaitu dengan semakin singkatnya waktu pemanasan maka temperatur rekristalisasi akan meningkat, akibatnya tidak dapat merekristalisasi butir secara keseluruhan, kemungkinan hanya energi tersimpan deformasi di batas butir dulu yang tinggi terutama yang direkristalisasi, baru yang di dalam butirnya^[14,22,28-30,43].

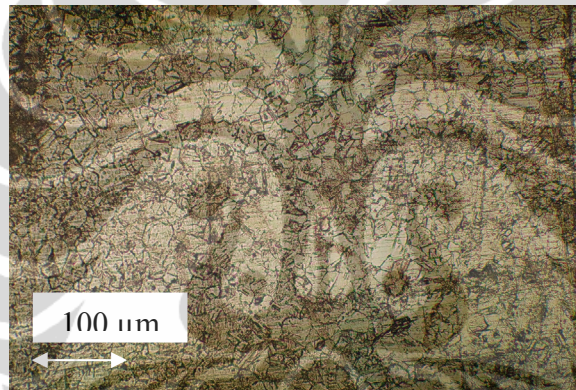
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C, setelah anil temperatur 600°C waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi lihat Gambar 4.31, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi lihat Gambar 4.32, pada posisi permukaan menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi lihat Gambar 4.33. Besar butir rata-rata 0,0506 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.31. Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

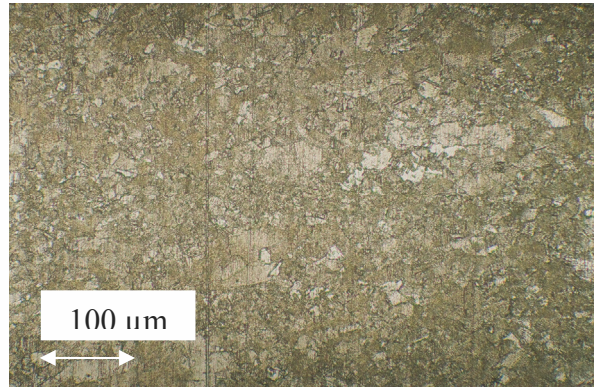


Gambar 4.32. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

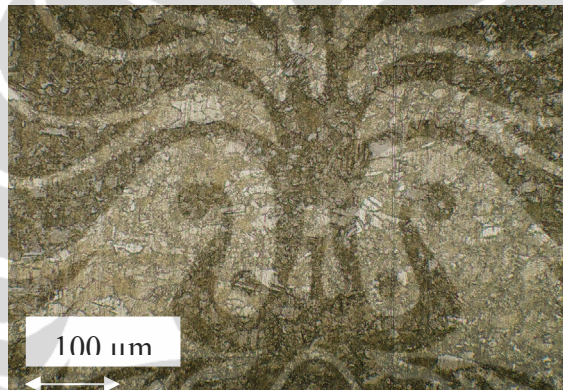


Gambar 4.33. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

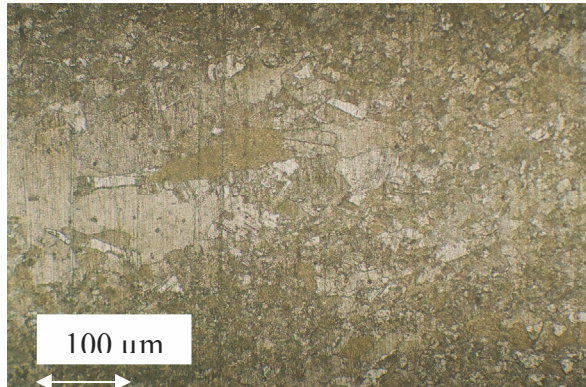
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$) pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C setelah anil temperatur 600°C waktu 3 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi lihat Gambar. 4.34, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi lihat Gambar. 4.35, pada posisi permukaan menunjukkan mayoritas butir terekristalisasi lihat Gambar 4.36. Besar butir rata-rata $0,0511 \text{ mm}$ lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.34. Posisi memanjang menunjukkan butir terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



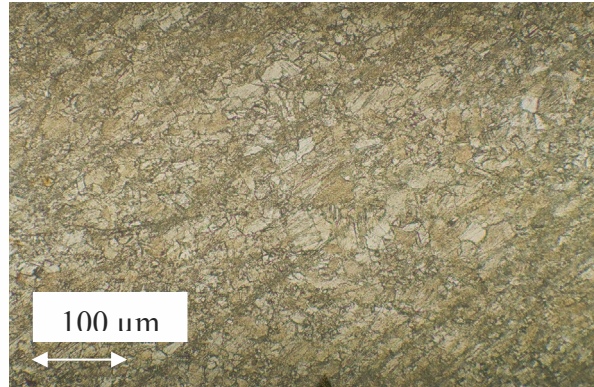
Gambar 4.35. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



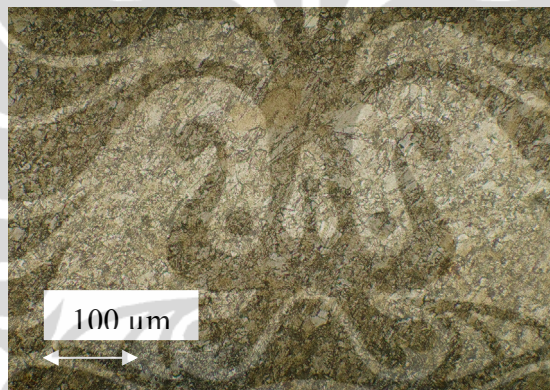
Gambar 4.36. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas terekristalisasi sepenuhnya. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi dan melebihi persyaratan, setelah anil temperatur 600° waktu 3 menit untuk melihat pengaruh waktu anil, pada posisi memanjang menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu keseluruhan butir terekristalisasi. Berarti proses anil pada temperatur 600°C dan waktu 3 menit merupakan kombinasi waktu dan temperatur anil yang optimal, untuk merekristalisasi semua inti-inti rekristalisasi seperti energi tersimpan akibat deformasi dingin baik itu di batas maupun didalam butir, karena mekanisme pengendalian rekristalisasi adalah aktivasi termal. Ditunjukkan oleh besar butir pada saat pengerolan dingin berturut-turut yaitu 0,0635 dan 0,0675 mm setelah dianil pada temperatur 600°C selama 3 menit menjadi berturut-turut menjadi 0,0506 dan 0,0511 mm berarti terjadi selisih penurunan hanya sedikit yaitu sekitar 0,0129 dan 0,0164 mm berarti terjadi pertumbuhan butir^[14,22,28-30,43].

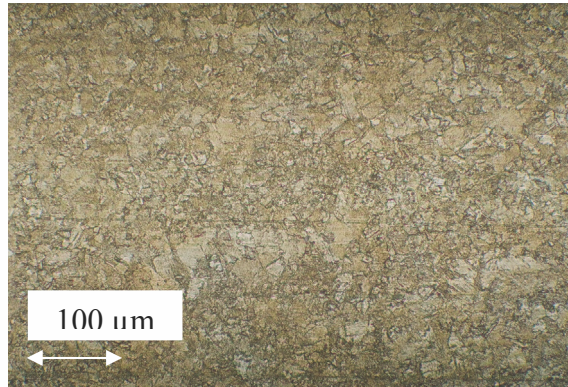
Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan (kadar aluminium $\leq 0,03\%$), pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C , setelah anil temperatur 600° waktu 4 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dan berkembang lihat Gambar 4.37, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dan berkembang lihat Gambar 4.38, pada posisi permukaan menunjukkan butir terekristalisasi dan sebagian mengembang lihat Gambar 4.39. Besar butir rata-rata 0,0506 mm lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.37. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat-bulat besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

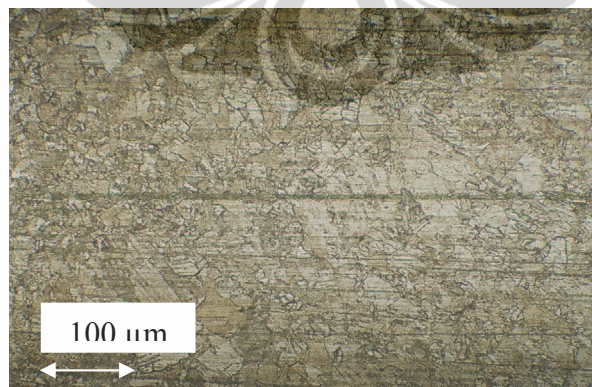


Gambar 4.38. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

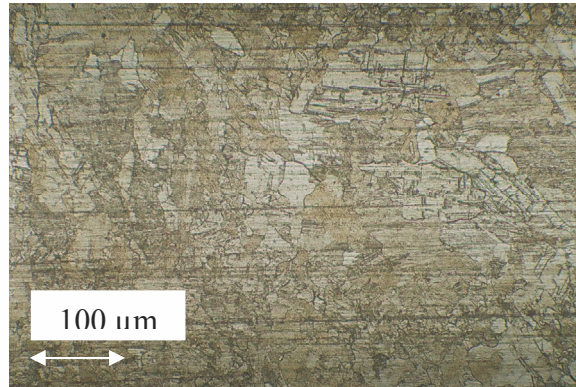


Gambar 4.39. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

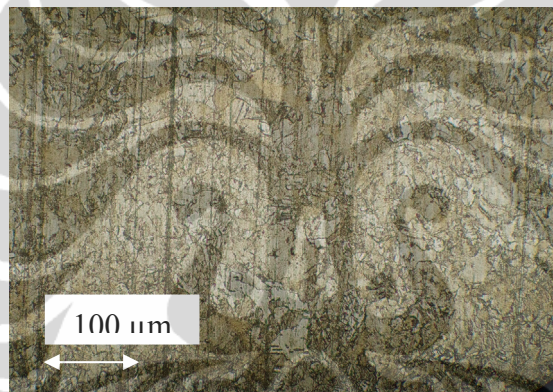
Dari sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan (kadar aluminium $> 0,03\%$) pada pengamatan variasi waktu anil 2,3 dan 4 menit dengan temperatur anil tetap 600°C , setelah anil temperatur 600°C waktu 4 menit, pada posisi memanjang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dan berkembang lihat Gambar. 4.40, kemudian pada posisi melintang menunjukkan keseluruhan butir terekristalisasi dan berkembang lihat Gambar. 4.41, pada posisi permukaan menunjukkan butir terekristalisasi dan berkembang lihat Gambar. 4.42. Besar butir rata-rata $0,0601 \text{ mm}$ lihat Tabel 4.2. Pengukuran Besar Butir.



Gambar 4.40. Posisi memanjang menunjukkan butir bulat2 besar berarti butir tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



Gambar 4.41. Posisi melintang menunjukkan butir potongan melintang tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .



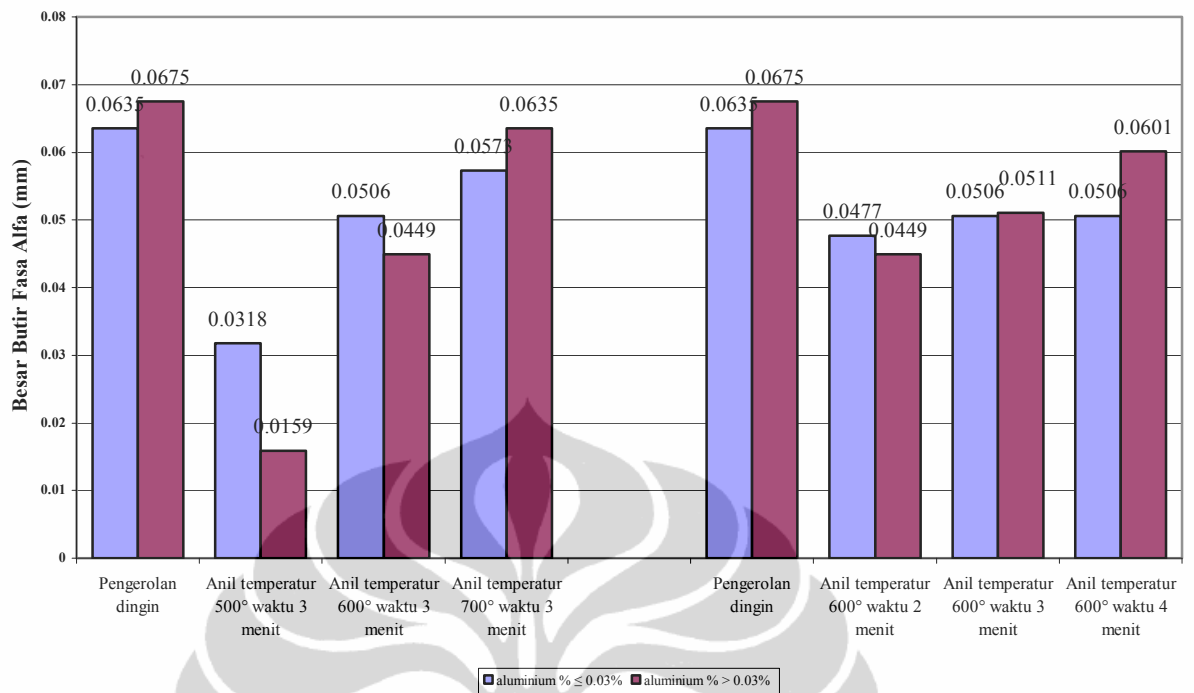
Gambar 4.42. Posisi permukaan menunjukkan potongan butir dilihat dari atas tumbuh membesar. Perbesaran 200X. Etsa FeCl_3 .

Dari sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi dan melebihi persyaratan, setelah anil temperatur 600° waktu 4 menit untuk melihat pengaruh waktu anil, pada posisi memanjang menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu keseluruhan butir terekristalisasi membesar. Berarti proses anil pada temperatur 600°C dan waktu 4 menit, waktu pemanasannya lebih panjang berhubungan mekanisme pengendalian anil oleh aktivasi termal, dengan waktu yang semakin lama maka temperatur anil semakin menurun, akibatnya energi panas yang diberikan kepada energi tersimpan akibat deformasi dingin di batas dan di dalam butir berlebihan sehingga memudahkan butir terekristalisasi dengan cepat, karena butir terekristalisasi juga tidak stabil dengan adanya panas berlebih akhirnya butir

tumbuh membesar. Ditunjukkan oleh besar butir pada saat pengerolan dingin berturut-turut yaitu 0,0635 dan 0,0675 mm setelah dianil pada temperatur 600°C selama 4 menit menjadi berturut-turut menjadi 0,0506 dan 0,0601 mm berarti terjadi selisih penurunan semakin rapat yaitu sekitar 0,0129 dan 0,0074 mm berarti pertumbuhan butir semakin membesar mendekati maksimal. Ketika rekristalisasi selesai struktur tidak stabil dan pertumbuhan lebih lanjut dari butir terekristalisasi dapat terjadi. Gaya penggeraknya yaitu pengurangan energi yang disimpan di material dalam bentuk batas butir, yang besarnya lebih kecil dari energi penggerak untuk rekristalisasi. Pergerakan batas butir berhubungan kuat dengan temperatur dan mempengaruhi kinetika pertumbuhan butir^[14,21-24,26-27,31,43].

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Besar Butir.

Kondisi sampel	Ukuran butir α (mm)		Standar besar butir Industri Pengguna (mm)
	% wt Al \leq 0,03%	% wt Al $>$ 0,03%	
Pengerolan dingin	0,0635	0,0675	0,030 - 0,070
Anil temperatur 500° waktu 3 menit	0,0318	0,0159	
Anil temperatur 600° waktu 3 menit	0,0506	0,0449	
Anil temperatur 700° waktu 3 menit	0,0573	0,0635	
Anil temperatur 600° waktu 2 menit	0,0477	0,0449	
Anil temperatur 600° waktu 3 menit	0,0506	0,0511	
Anil temperatur 600° waktu 4 menit	0,0506	0,0601	



Gambar 4.43. Grafik pengaruh pengerolan dingin dan anil terhadap besar butir.

Di lihat dari grafik besar butir pada saat pengerolan dingin baik itu dari sampel yang melebihi ataupun memenuhi persyaratan kadar aluminiumnya lihat Gambar 4.43, didapatkan besar butir yang lebih tinggi pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, kemungkinan perbedaan disebabkan sebelum dilaksanakan pengerolan dingin untuk mendapatkan ketebalan pelat akhir 3,1 mm, terlebih dahulu dilaksanakan pemanasan pelat sebelum pengerolan panas di dalam tungku dengan posisi peletakan pelat saling bertumpukan dan menyebar di dalam pelat dengan busur api di bagian atas pelat, sehingga bagian atas tumpukan dan pelat yang posisinya dekat api terdapat kemungkinan pemanasan berlebih sehingga besar butirnya dapat lebih tinggi, sehingga pada saat pengerolan dingin pelat yang pemanasannya berlebih besar butirnya tetap akan lebih besar^[14,21-24,26-27,31,43].

Pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi temperatur anil dengan waktu tahan yang tetap yaitu, pada saat dianil pada temperatur 500 dan 600°C waktu 3 menit, kemudian juga pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi waktu anil dengan temperatur anil yang tetap, pada saat dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 2 dan 3 menit lihat Gambar

4.43, menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu pada kadar aluminiumnya melebihi persyaratan ternyata besar butirnya lebih rendah, dibandingkan dengan yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan, hal ini disebabkan ketidak homogenan seperti deformasi dan pita geser yang merupakan tempat pengintian rekristalisasi lebih cepat terbentuk di butir kasar, yang kecepataannya akan meningkat dengan meningkatnya ukuran butir, oleh karena itu dengan meningkatnya kecepatan pengintian maka akan didapatkan lebih banyak besar butir kecil^[14,21-24,26-27,31,43].

Hanya saja pada pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi temperatur anil dengan waktu tahan yang tetap yaitu, pada saat dianil pada temperatur 500°C waktu 3 menit, besar butirnya lebih kecil dibandingkan dengan pada pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi waktu anil dengan temperatur anil yang tetap, pada saat dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 2 menit, hal ini disebabkan dengan regangan tinggi akibat pengerolan dingin pada butir menyebabkan energi tersimpan merupakan gaya penggerak rekristalisasi akan meningkat, sehingga pengintian dan pertumbuhan lebih cepat terjadi pada temperatur yang lebih rendah pada logam yang mengalami deformasi tinggi, sedangkan pada saat dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 2 menit, butir-butir yang terekristalisasi bersifat tidak stabil, dengan adanya energi panas yang lebih tinggi maka rekristalisasi akan semakin cepat menumbuh akibatnya didapatkan butir yang lebih besar^[14,21-24,26-27,31,43].

Demikian juga pada kondisi dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 3 menit ternyata kecenderungannya hampir sama yaitu pertumbuhan butir cenderung menurun hal ini disebabkan rekristalisasi sudah selesai atau optimal. Pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi temperatur anil dengan waktu tahan yang tetap yaitu, pada saat dianil pada temperatur 700°C waktu 3 menit, kemudian juga pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi waktu anil dengan temperatur anil yang tetap, pada saat dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 4 menit lihat gambar 4.43, menunjukkan kecenderungan yang berbeda dimana besar butir terbesar didapatkan

dari besar butir awal yang besar juga demikian sebaliknya, hal ini disebabkan oleh dengan besar butir awal yang besar akan didapatkan besar butir yang kecil, sedangkan butir terekristalisasi tersebut tidak stabil sehingga proses rekristalisasi akan berjalan semakin cepat akibat energi panas yang diberikan kepada energi deformasi yang tersimpan di batas maupun dalam butir semakin tinggi sehingga mempercepat pertumbuhan butir yang dapat menghasilkan ukuran butir akhir semakin besar^[14,21-24,26-27,31,43].

4.3. Kekerasan/hardness

Dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan, kekerasan tertinggi rata-rata ternyata didapatkan pada kondisi sampel setelah mengalami pengerolan dingin yaitu 170 HV/147 HB lihat Tabel 4.3, kemudian terjadi penurunan kekerasan pada percobaan anil terhadap 3 (tiga) variabel temperatur yaitu 500, 600 dan 700°C dalam waktu tetap 3 (tiga) menit, dimana pada temperatur anil tinggi yaitu 700°C didapatkan nilai kekerasan terendah yaitu 84 HV/76 HB, sedangkan yang tertinggi pada temperatur 500°C yaitu 105 HV/93 HB, dan terakhir kekerasan/hardness yang ditengah-tengahnya pada temperatur 600°C yaitu 92 HV/82 HB. Dari percobaan anil terhadap 3 (tiga) variabel waktu tahan 2, 3 dan 4 menit kemudian temperatur tetap yaitu 600°C, ternyata terjadi penurunan kekerasan dari waktu tahan yang tercepat 2 menit didapatkan kekerasan yang tertinggi yaitu 111 HV/98 HB, kemudian menurun bertahap ditengahnya pada waktu tahan 3 menit didapatkan 92 HV/82 HB, dan yang paling rendah pada waktu tahan 4 menit yaitu 92 HV/82 HB.

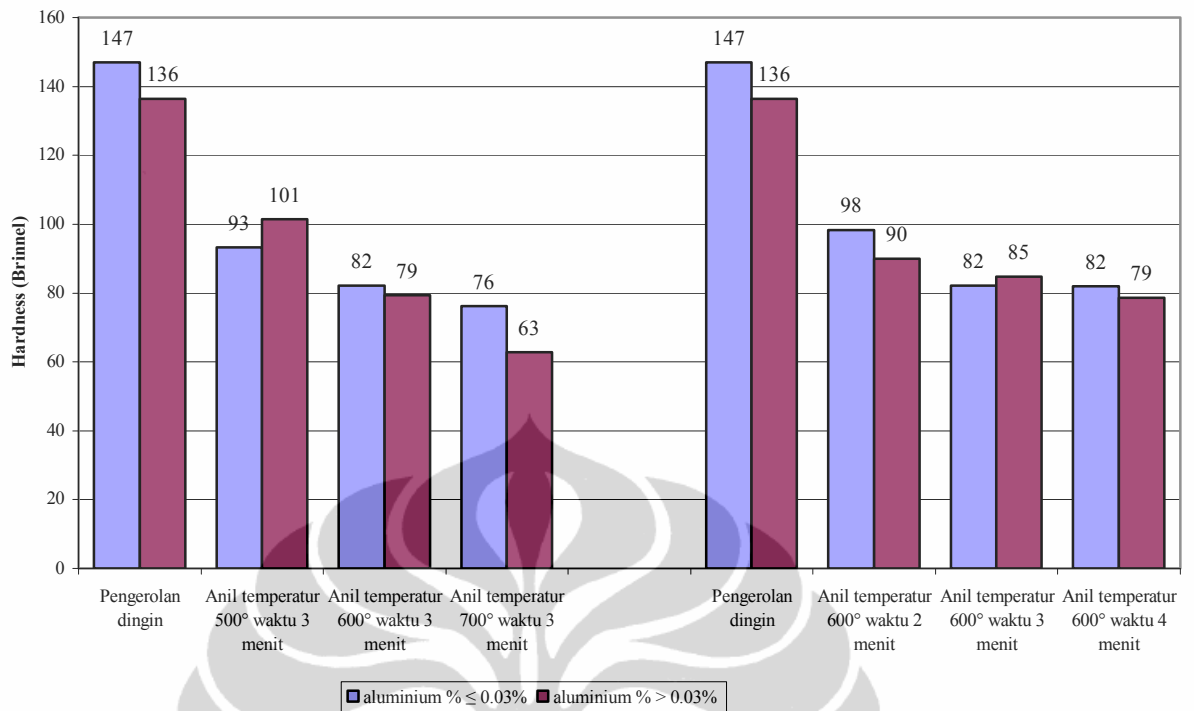
Data lebih lengkapnya lihat Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Hardness/Kekerasan. Dari sampel kadar aluminium melebihi persyaratan, kekerasan tertinggi rata-rata ternyata didapatkan pada kondisi sampel setelah mengalami pengerolan dingin yaitu 156 HV/136 HB, kemudian terjadi kecenderungan yang sama pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan, yaitu terjadi penurunan kekerasan pada percobaan anil terhadap 3 (tiga) variabel temperatur yaitu 500, 600 dan 700°C dalam waktu tetap 3 (tiga) menit, dimana pada temperatur anil tinggi yaitu 700°C didapatkan nilai kekerasan terendah yaitu

70 HV/63 HB, sedangkan yang tertinggi pada temperatur 500°C yaitu 115 HV/102 HB, dan terakhir kekerasan/hardness yang ditengah-tengahnya pada temperatur 600°C yaitu 89 HV/79 HB. Dari percobaan anil terhadap 3 (tiga) variabel waktu tahan 2, 3 dan 4 menit kemudian temperatur tetap yaitu 600°C, ternyata terjadi penurunan kekerasan dari waktu tahan yang tercepat 2 menit didapatkan kekerasan yang tertinggi yaitu 102 HV/90 HB, kemudian menurun bertahap ditengahnya pada waktu tahan 3 menit didapatkan 96 HV/85 HB, dan yang paling rendah pada waktu tahan 4 menit yaitu 88 HV/79 HB. Data lebih lengkapnya lihat Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Hardness/Kekerasan.

Di lihat dari nilai kekerasan pelat pada saat pengerolan dingin terhadap sampel yang memenuhi persyaratan kadar aluminiumnya lihat Gambar 4.44, lebih tinggi dibandingkan dengan sampel kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, hal ini disebabkan jika dihubungkan dengan besar butirnya lebih kecil sehingga dengan besar butir lebih kecil maka batas butir akan lebih luas, sehingga dapat merintangai pergerakan dislokasi, akibatnya kekerasan menjadi tinggi, demikian sebaliknya dengan sampel pengerolan dingin yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, besar butirnya lebih besar sehingga kekerasannya lebih rendah lihat Gambar 4.44 dan 4.45. Pelat hasil pengerolan dingin setelah dianil/dilunakan pada temperatur 500°C waktu 3 menit, pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan ternyata kekerasannya menjadi jauh menurun dari keadaan pengerolan dingin, sama keadaannya dengan sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan lihat Gambar 4.44, hanya saja kekerasan lebih tinggi terjadi pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, hal ini disebabkan jika dihubungkan dengan ukuran butir akibat rekristalisasi, besar butir yang berkembang akibat aktivasi panas lebih rendah dibandingkan dengan yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan besar butir yang terjadi lebih besar lihat Gambar 4.44 dan 4.45^[14,22,24,26-31,43].

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Kekerasan/Hardness

Setelah pengerolan dingin		
Posisi	Kadar Al $\leq 0,03\%$	Kadar Al $> 0,03\%$
Memanjang	153 HV	141 HV
Melintang	177 HV	160 HV
Permukaan	193 HV	169 HV
Rata-rata	170 HV = 147 HB	156 HV = 136 HB
Setelah anil temperatur 500° waktu 3 menit		
Memanjang	103 HV	123 HV
Melintang	104 HV	105 HV
Permukaan	109 HV	116 HV
Rata-rata	105 HV = 93 HB	115 HV = 102 HB
Setelah anil temperatur 600° waktu 3 menit		
Memanjang	91 HV	89 HV
Melintang	96 HV	92 HV
Permukaan	91 HV	85 HV
Rata-rata	92 HV = 82 HB	89 HV = 79 HB
Setelah anil temperatur 700° waktu 3 menit		
Memanjang	78 HV	70 HV
Melintang	91 HV	70 HV
Permukaan	85 HV	69 HV
Rata-rata	84 HV = 76 HB	70 HV = 63 HB
Setelah anil temperatur 600° waktu 2 menit		
Memanjang	116 HV	112 HV
Melintang	110 HV	101 HV
Permukaan	108 HV	93 HV
Rata-rata	111 HV = 98 HB	102 HV = 90 HB
Setelah anil temperatur 600° waktu 3 menit		
Memanjang	91 HV	96 HV
Melintang	96 HV	98 HV
Permukaan	91 HV	94 HV
Rata-rata	92 HV = 82 HB	96 HV = 85 HB
Setelah anil temperatur 600° waktu 4 menit		
Memanjang	88 HV	80 HV
Melintang	97 HV	93 HV
Permukaan	91 HV	89 HV
Rata-rata	92 HV = 82 HB	88 HV = 79 HB



Gambar 4.44. Pengaruh proses pengerolan dan anil terhadap kekerasan.

Pelat hasil pengerolan dingin setelah dianil/dilunakan pada temperatur 600°C waktu 3 menit lihat Gambar 4.44, pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan ternyata kekerasannya lebih rendah sedikit dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, rekristalisasi adalah aktivasi termal sehingga anil pada temperatur 600°C waktu 3 menit benar-benar mampu mendorong inti-inti butir terekristalisasi dan energi yang tersimpan akibat pengerjaan dingin yang terdapat di batas dan dalam butir untuk tumbuh menjadi butir yang terekristalisasi (bebas tegangan) semakin besar ukurannya, sehingga semakin menurunkan kekerasannya. Unsur aluminium yang ditambahkan hanya berperan untuk melindungi banyak seng menguap dan meningkatkan keenceran cairan logam kuningan pada saat peleburan, jika kelebihannya hanya 0,1% tidak berpengaruh karena 1% aluminium setara dengan 6% kadar seng, jika lebih dari 1% aluminium baru berpengaruh meningkatkan kekerasan juga karena akan tumbuh fasa baru β (beta) dengan struktur kristal BCC yang lebih keras dari α dengan struktur FCC yang lebih lunak. Jadi disini yang berpengaruh yaitu besar butir awal dan derajat deformasi lihat Gambar 4.44 dan 4.45^[14,22,24,26-31,43].

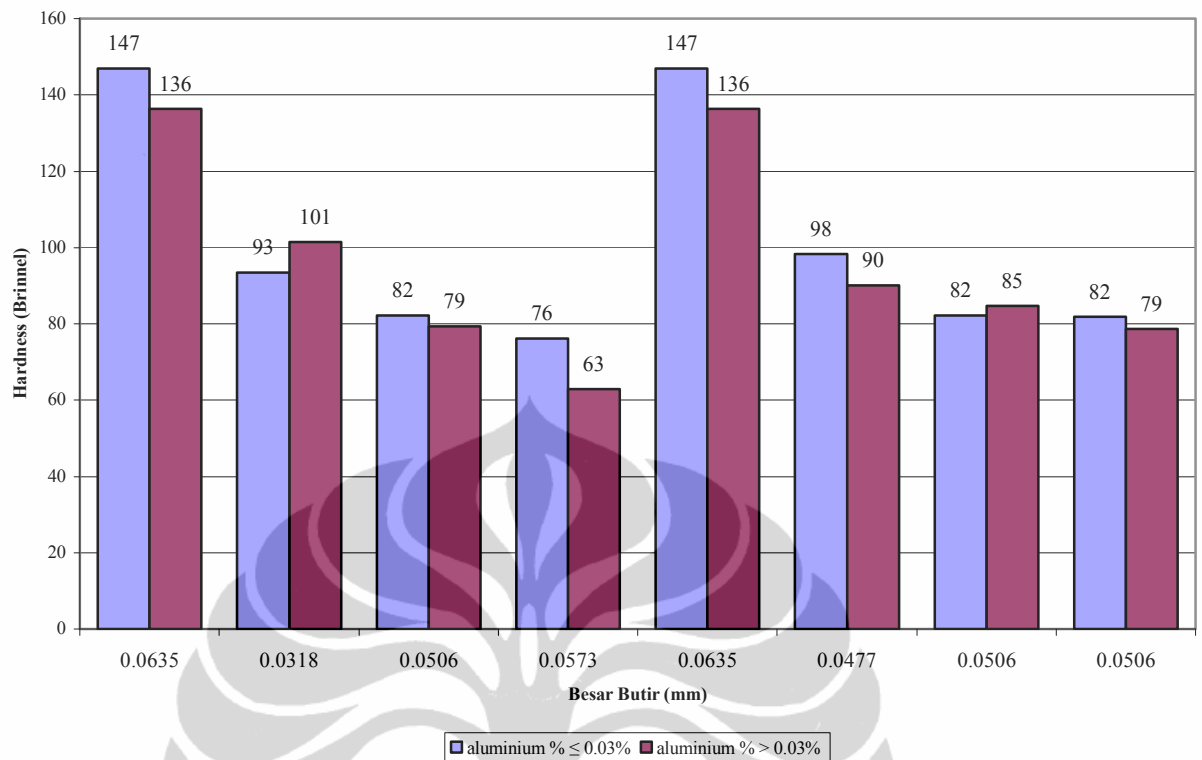
Pelat hasil pengerolan dingin setelah dianil/dilunakan pada temperatur 700°C waktu 3 menit, pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan ternyata kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan lihat Gambar 4.44, proses rekristalisasi akan berjalan semakin cepat akibat energi panas yang diberikan kepada energi deformasi yang tersimpan di batas maupun dalam butir semakin tinggi sehingga mempercepat pertumbuhan butir yang dapat menghasilkan ukuran butir akhir semakin besar, sehingga didapatkan ukuran butir yang lebih besar dan akhirnya kekerasan menjadi menurun, besar butir akhir dipengaruhi deformasi yang dialami material dan besar butir sebelumnya, untuk sampel dengan kadar aluminium yang memenuhi persyaratan kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan disebabkan butir awalnya yang lebih kecil sehingga lebih cepat tumbuh membesar lihat Gambar 4.44 dan 4.45^[14,22,24,26-31,43].

Berdasarkan pengamatan kekerasan berhubungan dengan variasi waktu dengan temperatur tetap, pada temperatur 600°C waktu 2 menit, pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan ternyata kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan akan tetapi secara umum dari kedua kondisi itu, kekerasannya masih lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada anil dengan temperatur 600°C waktu 3 menit lihat Gambar 4.44, dengan perbedaan tipis kekerasannya antara sampel dengan kadar aluminium yang melebihi atau memenuhi persyaratan kadar aluminiumnya, karena mekanisme pengendalian anil adalah aktivasi termal, sehingga pada temperatur yang sama dengan waktu anil yang lebih panjang mengakibatkan pertumbuhan besar butir akan terus meningkat sejalan dengan waktu anil sampai pertumbuhan butir tersebut mencapai saling menabrak satu sama lainnya baru kecepatan rekristalisasi menurun, sehingga dengan semakin meningkatnya besar butir maka kekerasannya akan menurun^[14,22,24,26-31,43].

Demikian juga pada kondisi anil temperatur 600°C waktu 4 menit antara sampel kadar aluminium melebihi atau memenuhi persyaratan perbedaan

kekerasannya juga tipis, kemudian kekerasannya juga semakin menurun karena semakin lamanya pemanasan anil yang butir rekristalisasinya tidak stabil akan semakin tumbuh membesar diakibatkan akan semakin menurunkan kekerasannya, karena dengan semakin besarnya butir maka akan mengurangi daerah batas butir sehingga memudahkan dislokasi melintas sehingga material menjadi lunak atau mudah dibentuk lihat Gambar 4.44 dan 4.45. Pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi temperatur anil dengan waktu tahan yang tetap yaitu, pada saat dianil pada temperatur 500°C waktu 3 menit, pada komposisi aluminium yang kadarnya melebihi atau memenuhi persyaratan kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 2 menit lihat Gambar 4.45, secara umum kekerasannya lebih rendah dikarenakan besar butir yang terjadi lebih besar akibatnya semakin tingginya temperatur anil yang diberikan, akan tetapi terjadi perbedaan kekerasan antara sampel kondisi aluminium yang melebihi persyaratan lihat Gambar 4.44 dan 4.45, hal ini dapat terjadi karena perbedaan komposisi juga dapat menyebabkan pertumbuhan berbeda dimana semakin murni suatu logam temperatur rekristalisasi menurun, kemudian semakin banyak unsur-unsur paduan yang ditambahkan akan meningkatkan temperatur rekristalisasinya^[14,22,24,26-31,43].

Pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi temperatur anil dengan waktu tahan yang tetap yaitu, pada saat dianil pada temperatur 700°C waktu 3 menit, kemudian juga pengaruh dari perbedaan komposisi aluminium terhadap variasi waktu anil dengan temperatur anil yang tetap, pada saat dianil pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 4 menit menunjukkan kecenderungan yang sama lihat Gambar 4.44, yaitu kekerasannya semakin menurun akan tetapi penurunannya lebih tinggi pada anil temperatur 700°C waktu 3 menit, disebabkan semakin tingginya temperatur yang diberikan mempercepat rekristalisasi sehingga didapatkan butir yang kasar lihat Gambar 4.44 dan 4.45^[14,22,24,26-31,43].



Gambar 4.45 Pengaruh besar butir terhadap kekerasan dari sampel kadar Al ≤ 0,03% dan Al > 0,03%.

4.4. Tarik

Sampel pengujian tarik yang didapatkan dari kondisi anil optimal dari pasangan temperatur dan waktu tahan yaitu 600°C dan 3 menit untuk melihat kemampuan bentuk pelat, maka pada sampel kadar aluminium sesuai persyaratan yaitu elongasi (pemuluran) di dapatkan 48,24%, kemudian kekuatan tarik maksimal di dapatkan 37,61 kg/mm² lalu koefisien pengerasan regang di dapatkan 0,505 dan anisotropi normal di dapatkan 1,58 serta anisotropi planar di dapatkan 0,247, sedangkan dari sampel kadar aluminium melebihi persyaratan yaitu elongasi (keuletan) di dapatkan 47,67%, kemudian kekuatan tarik maksimal di dapatkan 36,97 kg/mm² lalu koefisien pengerasan regang di dapatkan 0,510 dan anisotropi normal di dapatkan 1,723 serta anisotropi planar di dapatkan 0,048. Ternyata dari data elongasi dan kekuatan tarik maksimal sampel aluminium sesuai persyaratan lebih tinggi dari sampel aluminium yang melebihi persyaratan, sedangkan dari data *strain hardening exponent* dan anisotropi normal serta planar

lebih tinggi pada sampel aluminium yang melebihi persyaratan. Data lebih lengkapnya lihat Tabel 4.4 Hasil pengujian tarik.

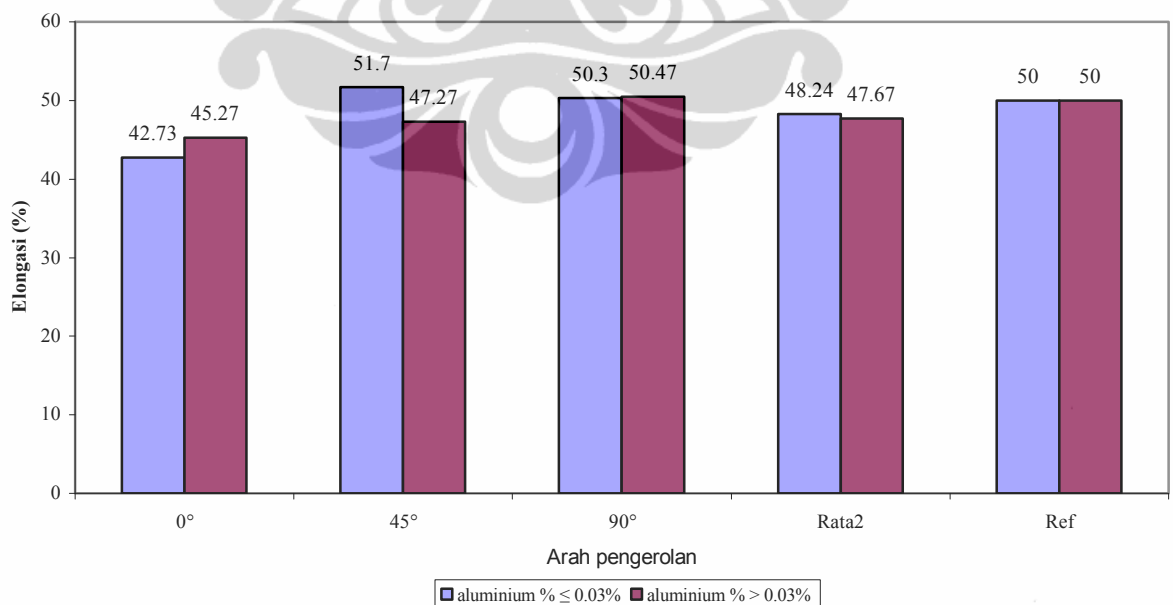
Tabel 4.4. Hasil pengujian tarik.

Anil optimal temperatur dan waktu tahan (600°C, 3 menit)		
Elongasi (%)		
Posisi	Kadar Al $\leq 0,03$ %	Kadar Al $> 0,03$ %
0°	42,73	45,27
45°	51,70	47,27
90°	50,30	50,47
Rata-rata	48,24	47,67
Ultimate tensile strength (kg/mm ²)		
0°	37,74	37,35
45°	36,87	36,62
90°	38,21	36,95
Rata-rata	37,61	36,97
Strain hardening exponent (n)		
0°	0,488	0,529
45°	0,514	0,497
90°	0,502	0,516
Rata-rata	0,505	0,510
Anisotropi normal (r) dan planar (Δr)		
r0°	1,75	1,82
r45°	1,46	1,699
r90°	1,65	1,670
r	1,58	1,723
Δr	0,247	0,048

Hasil simulasi anil dari variasi temperatur dan waktu di dapatkan kombinasi temperatur dan waktu anil yaitu 600°C waktu 3 menit berdasarkan pengamatan besar butir dan kekerasan merupakan kombinasi temperatur dan waktu anil yang optimal, kemudian dilakukan uji mampu bentuk pelat melalui uji tarik didapatkan hasil sebagai berikut, dari pengamatan elongasi sampel aluminium memenuhi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut elongasinya 51,7% dan 50,3% lebih tinggi dari pada arah 0° yaitu 42,73%, demikian juga dari pengamatan elongasi sampel aluminium

melebihi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut elongasinya 47,27% dan 50,47% lebih tinggi dari pada arah 0° yaitu 45,27% lihat Tabel 4.4 dan Gambar 4.47, disebabkan setelah pelat mengalami pengerolan dan dan pelunakan oleh anil mengakibatkan pelat bersifat anisotropy yaitu terjadinya perbedaan sifat mekanisnya pada arah 0° , 45° dan 90° terhadap arah pengerolan, akibat regangan yang berasal dari proses pengerolan mengakibatkan pelurusan bidang kristal inklusi non logam yang terdapat di slab diistilahkan sebagai tekstur serat dan pelurusan butir atau kristal yang dinamakan pengarahannya bidang kristal ke arah tertentu atau tekstur kristalografi^[13-14,22,37,41-42,44].

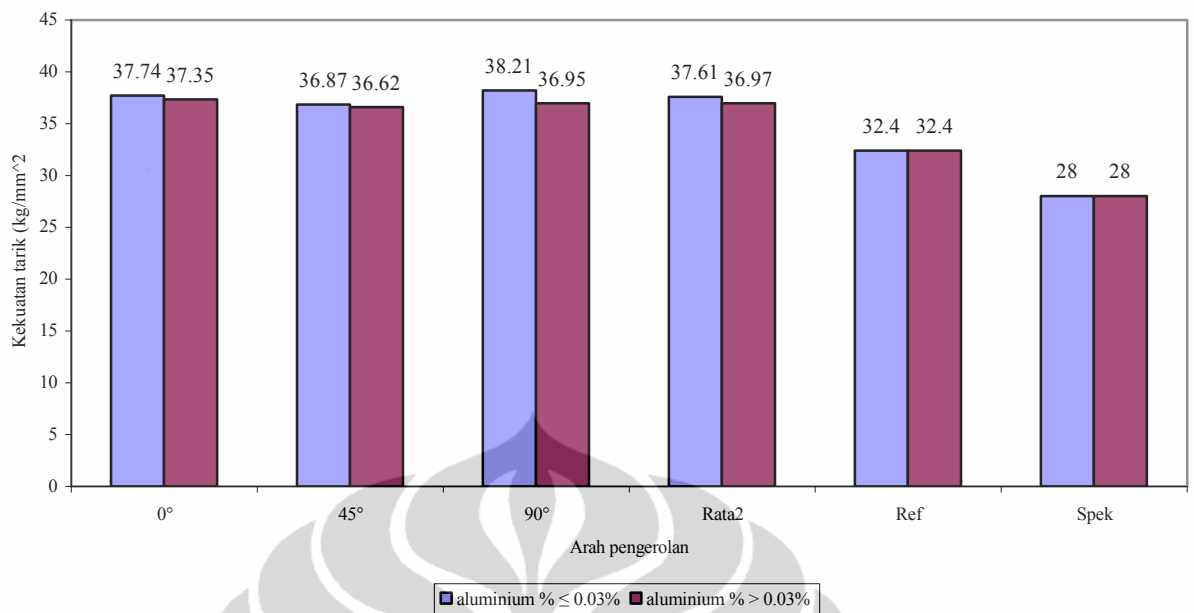
Pengarahannya kristal tertentu yang terjadi setelah pengerjaan dingin, biasanya juga hadir setelah anil tetapi pengarahannya tidak sama. Jika logam paduan kristal FCC mengalami pengerjaan dingin reduksi tinggi, kemudian di anil pada temperatur tinggi, pengarahannya kristal tertentu terbentuk yang dinamakan tekstur (pengarahannya kristal ke arah tertentu) kubus. Istilah ini mengacu pada kenyataan bahwa persentase butir tertinggi memiliki arah [001] sejajar arah pengerolan dan bidang (100) sejajar bidang pengerolan^[13-14,22,37,41-42,44].



Gambar 4.46. Elongasi terhadap arah pengerolan.

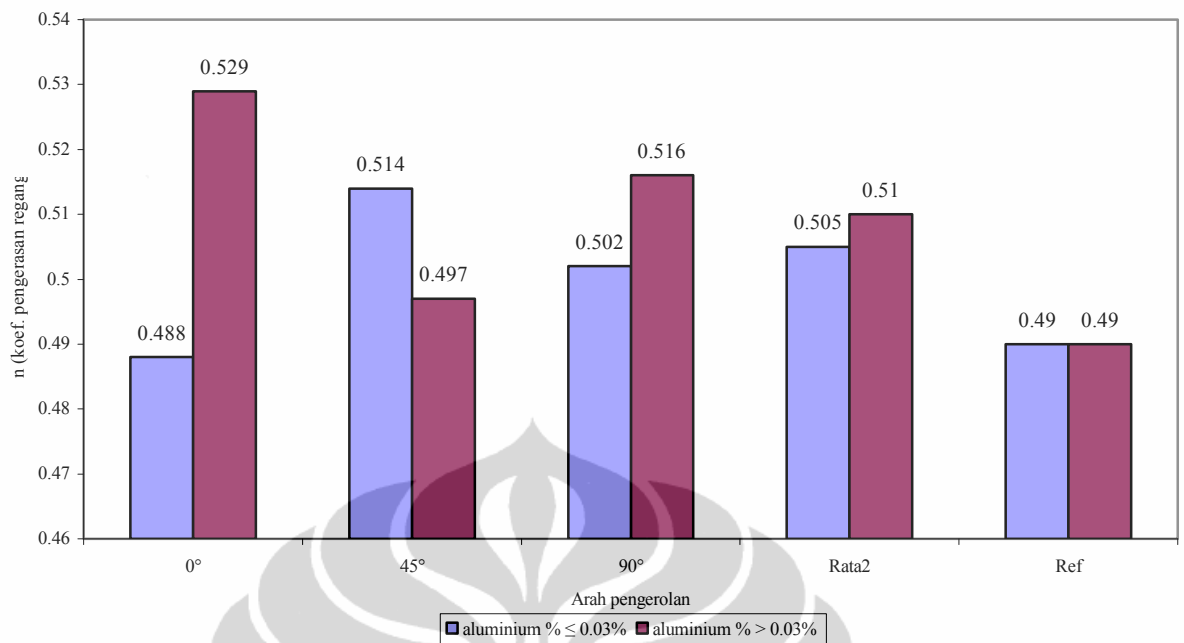
Tekstur (pengumpulan bidang kristal pada arah tertentu) ini dengan jelas akan membuat material memiliki sifat anisotropy, sehingga sifat mekanis sangat sensitif terhadap arah. Umumnya elongasi paling kecil terjadi pada arah 0° dan maksimal pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan. Perbedaan elongasi antara sampel aluminium yang memenuhi dan melebihi persyaratan aluminium tidak menunjukkan kecenderungan perbedaan yang salah satunya lebih tinggi atau rendah hanya terpaut selisih sedikit saja, disebabkan dengan kelebihan komposisi aluminium diatas 0,03% atau tepatnya 0,16112% menyebabkan pengarahan kristal tertentu (tekstur) berbeda karena mempengaruhi mobilitas penyesuaian pengarahan kristalnya, kemudian setelah dirata-ratakan dari ketiga arahnya untuk sampel yang kadar aluminiumnya melebihi dan memenuhi syarat berturut-turut 47,67% dan 48,24% sedangkan referensi 50% terjadi selisih perbedaan yang terpaut sedikit^[13-14,22,37,41-42].

Dari pengamatan kekuatan tarik maksimum sampel aluminium memenuhi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut $36,87 \text{ kg/mm}^2$ dan $38,21 \text{ kg/mm}^2$ lebih tinggi dari pada arah 0° yaitu $37,74 \text{ kg/mm}^2$, demikian juga dari pengamatan sampel aluminium melebihi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut $36,62 \text{ kg/mm}^2$ dan $36,95 \text{ kg/mm}^2$ lebih rendah dari pada arah 0° yaitu $37,35 \text{ kg/mm}^2$ lihat Tabel 4.4 dan Gambar 4.47, disebabkan setelah pelat mengalami pengerolan dan dan pelunakan oleh anil mengakibatkan pelat bersifat anisotropy akibat terjadi perputaran kristal pada arah tertentu akibat deformasi dan anil, tetapi kondisi aluminium yang melebihi persyaratan justru pada arah 0° lebih tinggi dibandingkan dengan arah 45° dan 90° , disebabkan perbedaan komposisi aluminium menyebabkan sifat anisotropynya akan berbeda karena bentuk tekstur yang dihasilkan akan berbeda, kemudian setelah dirata-ratakan dari ketiga arahnya untuk sampel yang kadar aluminiumnya melebihi dan memenuhi syarat berturut-turut $36,97 \text{ kg/mm}^2$ dan $37,61 \text{ kg/mm}^2$ sedangkan referensi literatur $32,4 \text{ kg/mm}^2$ kemudian spesifikasi industri hankam 28 - 36 kg/mm^2 terjadi selisih perbedaan yang terpaut sedikit pada batas maksimal spesifikasi industri pertahanan^[13-14,22,37,41-42].



Gambar 4.47. Pengaruh kekuatan tarik terhadap arah pengerolan

Dari pengamatan koefisien pengerasan regang (n) yaitu kemampuan bentuk pelat untuk *deep drawing* (penarikan dalam) yaitu kemampuan pelat diregangkan dalam keadaan tarik dua sumbu terhadap profil permukaan pembentuk pelat, ternyata dari sampel aluminium memenuhi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut 0,514 dan 0,502 lebih tinggi dari pada arah 0° yaitu 0,488, kemudian dari pengamatan sampel aluminium melebihi persyaratan ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut 0,497 dan 0,516 lebih rendah dari pada arah 0° yaitu 0,529 lihat Tabel 4.4 dan Gambar 4.48, disebabkan terjadinya perbedaan komposisi kimia menyebabkan sifat anisotropinya berbeda akibat tekstur yang terjadi berbeda, kemudian setelah dirata-ratakan dari ketiga arahnya untuk sampel yang kadar aluminiumnya melebihi dan memenuhi syarat berturut-turut 0,51 dan 0,505 sedangkan referensi literatur 0,49, berarti semakin tinggi nilai koefisien pengerasan regangnya maka pelat akan bersifat makin elastis sehingga kemampuan bentuk pelatnya semakin tinggi^[13-14,22,37,41-42].



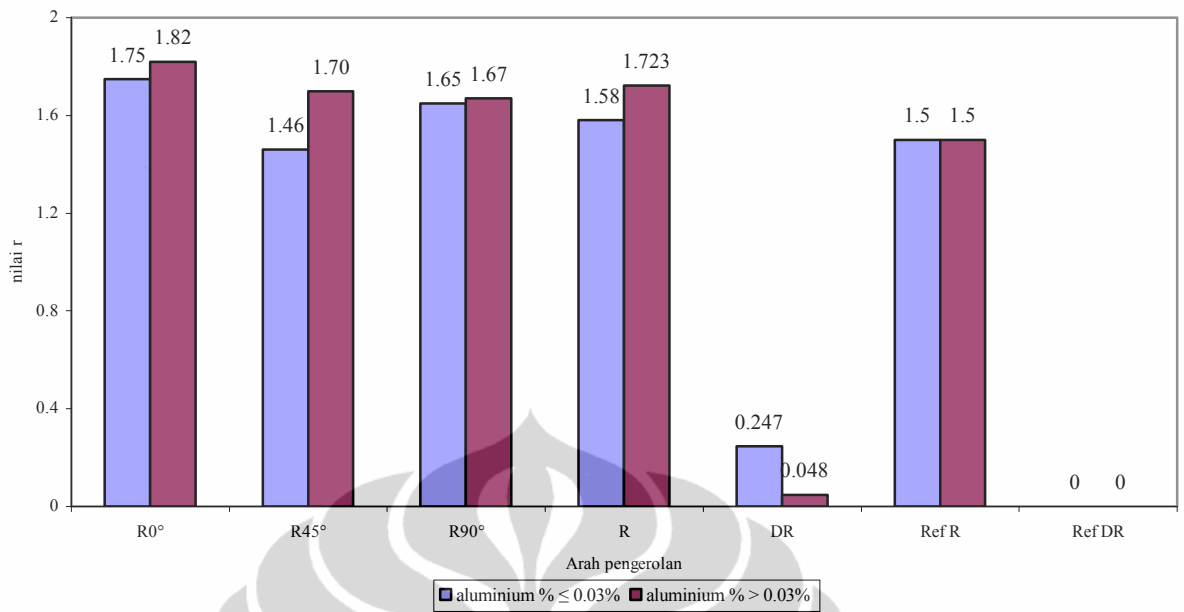
Gambar 4.48. Pengaruh arah pengerolan terhadap n (koefisien pengerasan regang).

Dari pengamatan anisotropi normal / perbandingan regangan plastis (r) menunjukkan perbandingan regangan arah lebar dan tebal dari pelat, ternyata dari sampel aluminium memenuhi persyaratan pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut 1,46 dan 1,65 lebih rendah dari pada arah 0° yaitu 1,75, disebabkan terjadinya perubahan tekstur akibat proses deformasi dan anil sehingga sifat mekanisnya berbeda-beda dari ketiga arah tersebut mengakibatkan nilai r nya juga berbeda-beda, kemudian dari pengamatan sampel aluminium melebihi persyaratan keadaannya sama ternyata pada arah 45° dan 90° terhadap arah pengerolan berturut-turut 1,70 dan 1,67 lebih rendah dari pada arah 0° yaitu 1,82 lihat Tabel 4.4 dan Gambar 4.49, disebabkan dengan kecenderungan yang sama, kemudian setelah dirata-ratakan dari ketiga arahnya untuk sampel yang kadar aluminiumnya melebihi dan memenuhi syarat berturut-turut 1,723 dan 1,58 sedangkan referensi literatur 1,5 - 1,8 berarti semakin tinggi nilai perbandingan regangan plastisnya berarti semakin tinggi kemampuan bentuk untuk deep drawing (tarik dalam), sehingga hasil anil pada temperatur 600°C waktu 3 menit di dapatkan kemampuan bentuk yang memenuhi persyaratan, kemudian nilai

perbandingan regangan plastis lebih tinggi pada aluminium yang melebihi persyaratan disebabkan dengan perbedaan komposisi kimia menyebabkan terjadinya tekstur yang berbeda^[13-14,22,37,41-42].

Dari pengamatan anisotropi planar / rata-rata perbandingan regangan plastis antara lebar dan tebal (Δr) atau kecenderungan untuk terjadinya pengupingan atau ketinggian yang tidak sama pada arah 0° , 45° dan 90° dari sampel aluminium memenuhi persyaratan yaitu 0,247, sedangkan dari sampel aluminium melebihi persyaratan lebih rendah yaitu 0,048 lihat Tabel 4.4 dan Gambar 4.48, disebabkan dengan perbedaan komposisi kimia menyebabkan terjadinya tekstur yang berbeda, menurut referensi literatur $\Delta r > 0$ pengupingan akan terbentuk pada sudut 0° dan 90° , dan semakin meningkatnya Δr mengakibatkan pengupingan juga semakin tinggi. Berarti dari kedua sampel aluminiumnya memenuhi dan melebihi persyaratan ternyata nilai Δr lebih tinggi dari 0 (nol) berarti cenderung terjadi pengupingan pada arah 0° dan 90° , kemudian pengupingan yang tertinggi didapatkan pada sampel aluminium yang memenuhi persyaratan^[37,43].

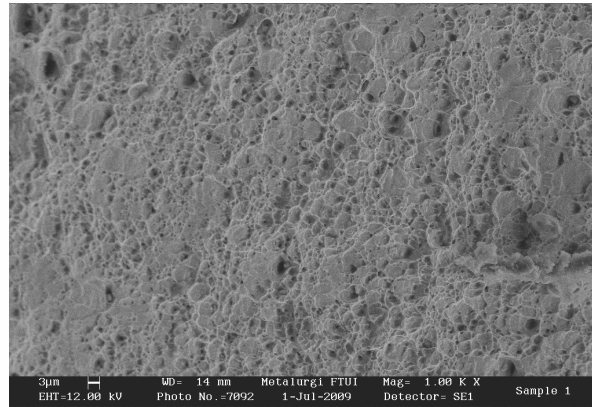
Keadaan ini jelas pada saat material mengalami deep drawing (penarikan dalam), ketidak rataan ketinggian bibir lingkaran dari bentuk mangkok diistilahkan pengupingan sebagai hasil dari keliatan yang lebih tinggi pada arah tertentu, tentu saja tidak diinginkan jika bibir yang rata diperlukan. Material yang dianil pada temperatur yang paling rendah sehingga hanya *recovery* yang terjadi akan menunjukkan pengupingan yang disebabkan tekstur deformasi yang asli, kemudian pengupingan tidak akan terbentuk pada sudut yang sama dengan arah pengerolan dengan yang dibentuk pada anil temperatur tinggi karena teksturnya berbeda, dan pada temperatur anil menengah meminimalkan pembentukan tekstur yang kuat dan akhirnya meminimalkan persentase (%) *earing*^[37,43].



Gambar 4.49. Pengaruh arah pengerolan terhadap nilai r (anisotropy normal).

4.5. Permukaan Patahan

Setelah dilakukan anil optimal pada temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit, dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan : pada permukaan patahan uji tarik posisi 0°, 45° dan 90°, ternyata pada permukaan patahannya menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, jadi pelat ini bersifat elastis, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.50 s/d 4.52.



Gambar 4.50. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 0°, dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.

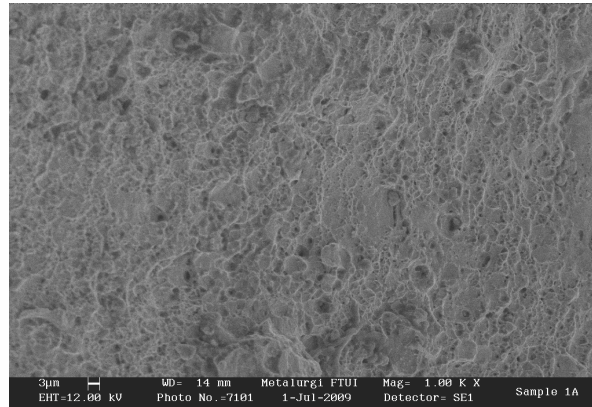


Gambar 4.51. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 45°, dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple* yang lebih jelas. Perbesaran 1000X.



Gambar 4.52. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 90° , dari sampel yang kadar aluminium $\leq 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.

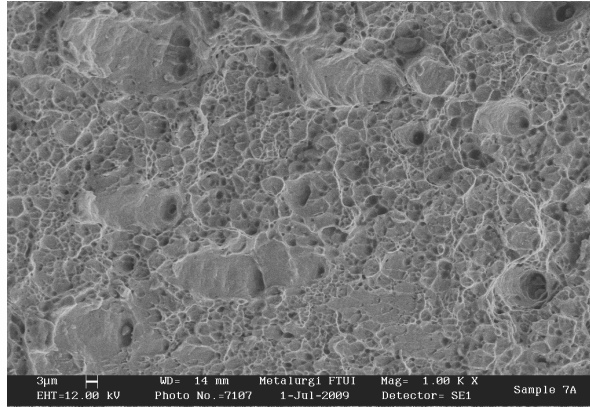
Dari sampel kadar aluminium melebihi persyaratan, pada permukaan patahan uji tarik posisi 0° , 45° dan 90° , ternyata pada permukaannya sama dengan gambar sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan, yaitu menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, jadi pelat juga menunjukkan sifat elastis, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.53 s/d 4.55.



Gambar 4.53. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 0° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.



Gambar 4.54. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 45° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple*. Perbesaran 1000X.



Gambar 4.55. Pada permukaan patahan uji tarik posisi 90° , dari sampel yang kadar aluminium $> 0,03\%$, permukaan patahan menunjukkan ciri-ciri bekas deformasi plastis terlebih dulu sebelum mengalami perpatahan, berarti pelat ini bersifat elastis, yang ditunjukkan dengan ciri khas *dimple* yang lebih jelas. Perbesaran 1000X.

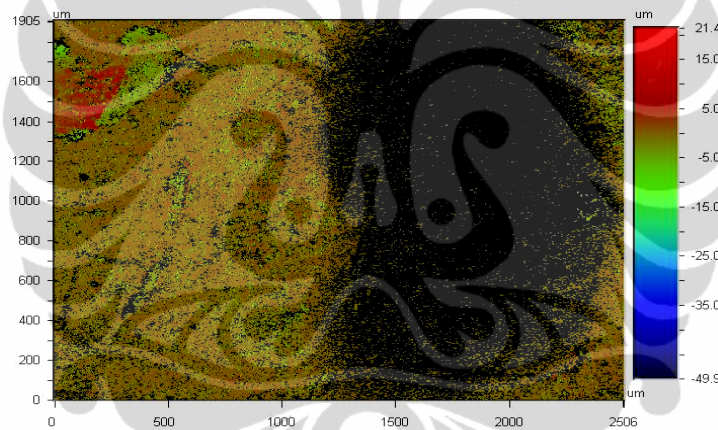
Pengamatan permukaan patahan sampel uji tarik pada sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan, pada arah 45° permukaan patahannya jelas menunjukkan ciri-ciri perpatahan elastis karena sebelum material tersebut patah didahului terlebih dulu dengan deformasi plastis yang ditunjukkan dalam foto seperti puncak-puncak gunung yang ada kawahnya (*dimple*), keadaan ini terlihat jelas juga pada arah 90° berarti pada arah 45° dan 90° lebih bersifat elastis yang lebih baik, dibandingkan dengan arah permukaan patahannya 0° yang juga permukaan patahannya menunjukkan bekas deformasi plastisnya yang ditandai dengan adanya bekas tarikan dibibir-bibir lubangnya, berarti elastisitasnya lebih rendah dibandingkan pada arah 45° dan 90° .

Pengamatan permukaan patahan sampel uji tarik pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan, juga menunjukkan kecenderungan yang sama dimana pada arah 45° dan 90° permukaan patahannya jelas menunjukkan ciri-ciri perpatahan elastis karena sebelum material tersebut patah didahului terlebih dulu dengan deformasi plastis yang ditunjukkan dalam foto seperti terdapat bekas sisa patahan yang lebih tinggi, dibandingkan dengan arah permukaan patahannya 0° yang juga permukaan patahannya menunjukkan keadaannya yang sama akan tetapi

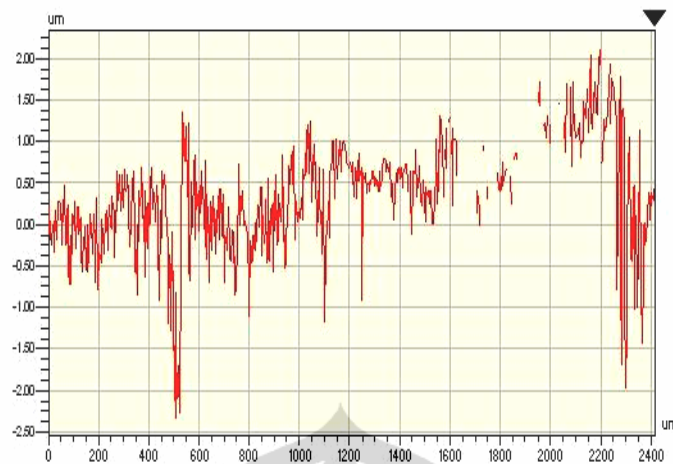
bekas sisa patahan lebih rendah, sehingga elastisitas pada arah 45° dan 90° lebih tinggi dari pada arah 0°, keadaan ini disebabkan oleh pengaruh anisotropy yaitu sifat mekanis yang berbeda pada ketiga arah 0°, 45° dan 90° akibat pembentukan arah kristal tertentu yang terjadi pada material akibat pengerolan dan anil^[13,35,37,41-42].

4.6. Kekasaran permukaan

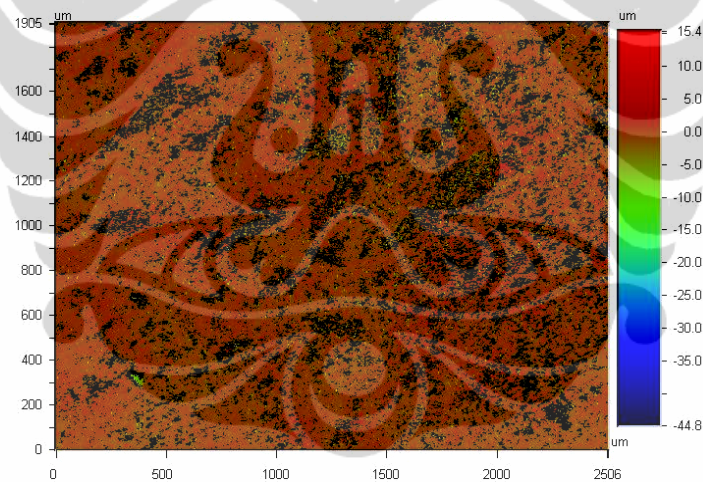
Setelah dilakukan anil optimal pada temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit, dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan di dapatkan kekasaran permukaan (Ra) yaitu 0,49 µm, dari kondisi anil yang sama pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan di dapatkan kekasaran permukaan (Ra) 0,34 µm lebih lengkapnya lihat Gambar 4.56 s/d 4.59.



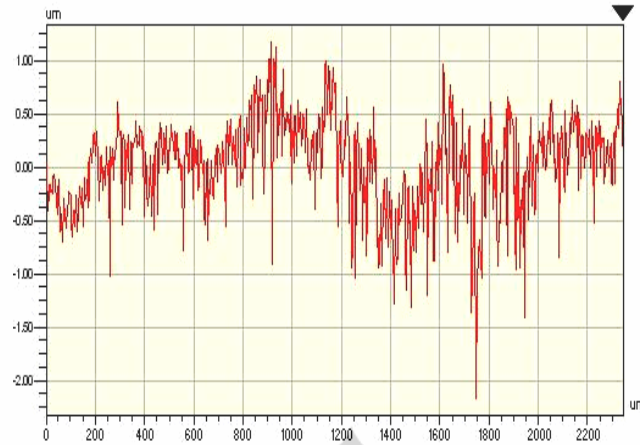
Gambar 4.56. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit, dari pengerolan dingin menyebabkan kekasaran permukaan pelat menjadi turun, dengan kekasaran permukaan rata-rata 0,49µm.



Gambar 4.57. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,49\mu\text{m}$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit setelah pelat mengalami pengerolan dingin.

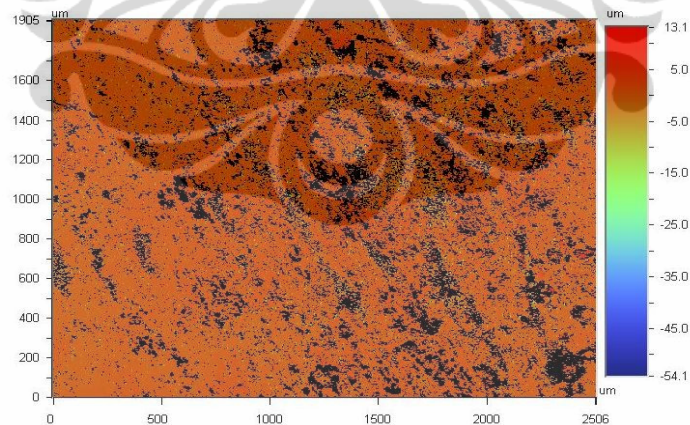


Gambar 4.58. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $> 0,03\%$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit, dari pengerolan dingin menyebabkan kekasaran permukaan pelat menjadi turun, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,34\mu\text{m}$.

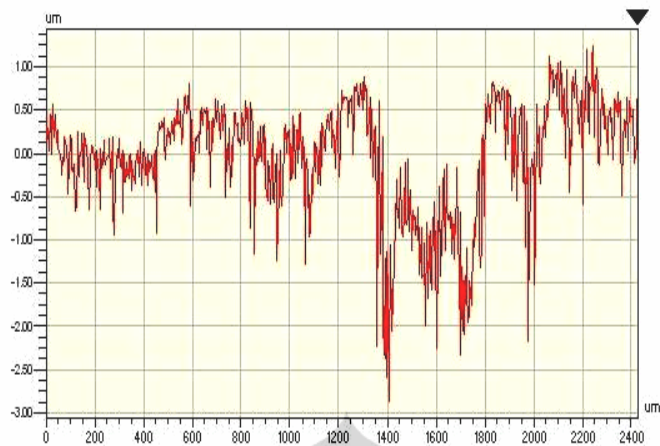


Gambar 4.59. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium $> 0,03\%$, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,34\mu\text{m}$, setelah mengalami anil 600°C waktu 3 menit setelah pelat mengalami pengerolan dingin.

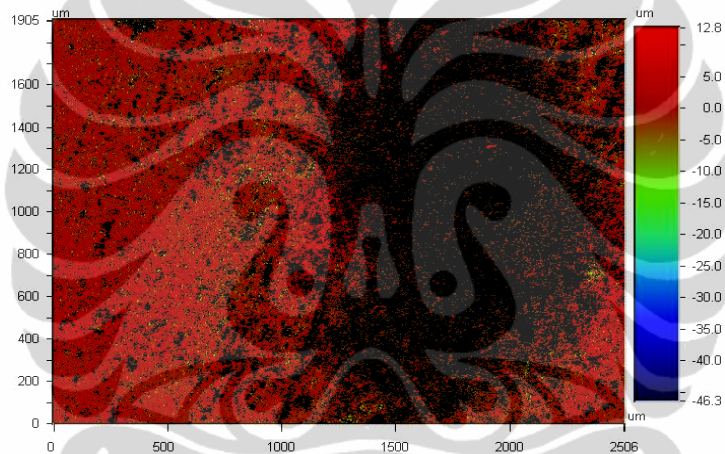
Jika dibandingkan dengan setelah mengalami pengerolan dingin, dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan di dapatkan kekasaran permukaan (R_a) $0,50\ \mu\text{m}$, pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan di dapatkan kekasaran permukaan (R_a) $0,42\ \mu\text{m}$, lebih lengkapnya lihat Gambar 4.60 s/d 4.63.



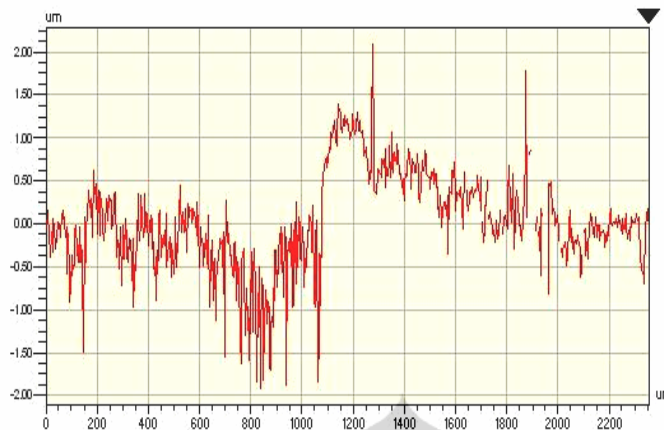
Gambar 4.60. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, deformasi dari pengerolan dingin menyebabkan permukaan pelat menjadi tinggi kekasarannya, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,5\mu\text{m}$.



Gambar 4.61. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium $\leq 0,03\%$, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,5\mu\text{m}$.



Gambar 4.62. Kekasaran permukaan permukaan 2 (dua) dimensi, dari sampel kadar aluminium $> 0,03\%$, deformasi dari pengerolan dingin menyebabkan permukaan pelat menjadi tinggi kekasarannya, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,42\mu\text{m}$.

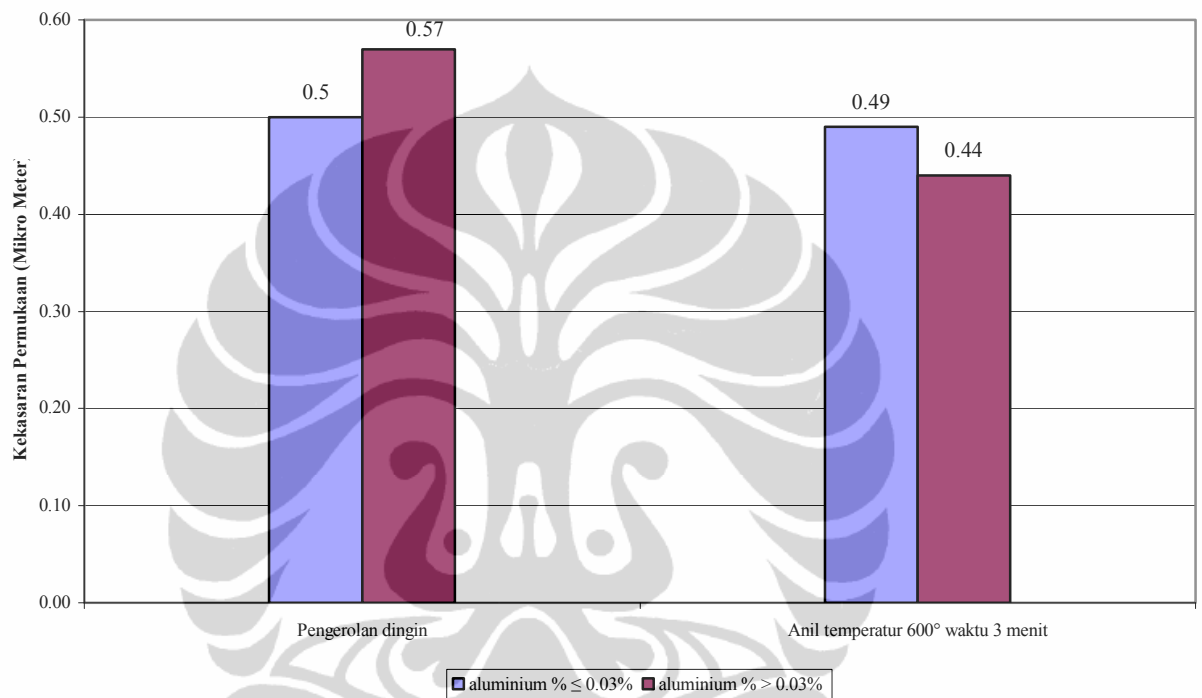


Gambar 4.63. Topografi kekasaran permukaan dari sampel kadar aluminium > 0,03%, dengan kekasaran permukaan rata-rata $0,42\mu\text{m}$.

Kekasaran permukaan pelat setelah mengalami pengerolan dingin, sedikit lebih tinggi terjadi di sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan yaitu $0,5\mu\text{m}$, dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan yaitu $0,42\mu\text{m}$ lihat Gambar 4.64, disebabkan oleh regangan yang terjadi setelah pengerolan dingin lebih tinggi pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan dengan kekerasan 136 HB lebih rendah, dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan dengan kekerasan yang lebih tinggi yaitu 147 HB, menyebabkan deformasi plastis pada permukaan dan penampang ketebalan pelat lebih mudah berlangsung, sehingga permukaan pelat menjadi kasar. Setelah mengalami anil optimal temperatur 600°C waktu 3 menit, ternyata kekasarannya menurun, pada sampel yang kadar aluminiumnya melebihi persyaratan yaitu $0,34\mu\text{m}$ lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan yaitu $0,49\mu\text{m}$ lihat Gambar 4.64^[37-40].

Hal ini disebabkan terjadinya rekristalisasi butir atau terjadinya butir baru yang bebas tegangan sisa, oleh proses anil dengan mekanisme termal aktivasi, mengakibatkan terjadinya peningkatan kemuluran pelat berturut-turut yaitu 47,67% dan 48,24%, berarti kekasaran yang lebih tinggi didapatkan pada kemuluran yang lebih tinggi, dibandingkan dengan kemuluran yang lebih rendah,

dengan kemuluran yang lebih tinggi lebih mudah terdeformasi plastis, dan kekasaran permukaan akan meningkat secara berangsur-angsur selama deformasi plastis berlangsung. Kualitas permukaan awal dan profil lembaran logam, berhubungan dengan tahapan pengerolan pada proses produksi, permukaan lebih halus didapatkan dari permukaan pengerol yang lebih halus di tahapan pengerolan akhir^[37-40].

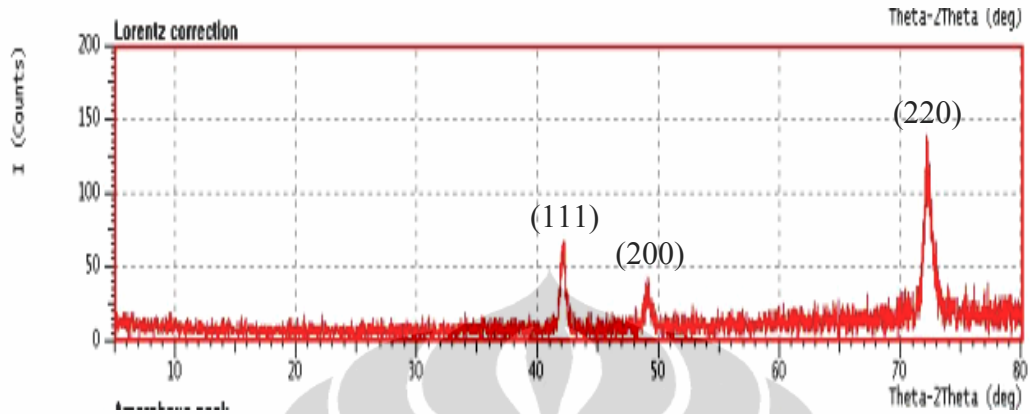


Gambar 4.64. Grafik hubungan pengerolan dingin dan anil temperatur 600°C waktu 3 menit terhadap kekasaran permukaan.

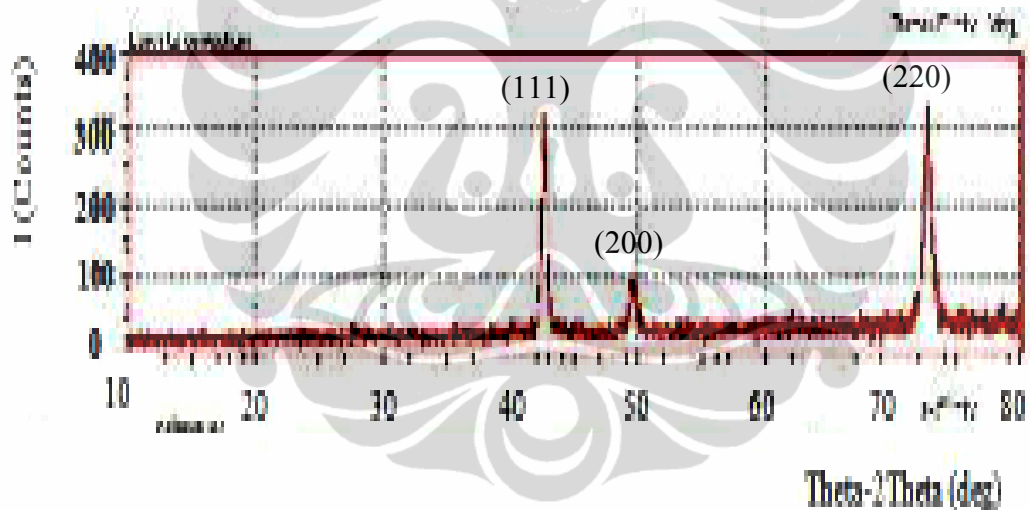
4.7. Difraksi Sinar X.

Setelah mengalami pengerolan dingin, dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan, dilihat dari ketinggian intensitas difraksi Sinar Xnya yang tertinggi pada sudut 2θ yaitu $72,6724^\circ$ kemungkinan besar terdapat teksur di bidang ini yaitu (220), sedangkan tertinggi kedua $\pm \frac{1}{3}$ dari tertinggi pertama yaitu $42,5500^\circ$, kemungkinan terjadi teksur walaupun lemah di bidang ini yaitu (111) lihat Gambar 4.65 dan Tabel 4.5. Dari sampel kadar aluminium melebihi persyaratan, dilihat dari ketinggian intensitas difraksi Sinar Xnya yang tertinggi pada sudut 2θ yaitu $72,6565^\circ$ kemungkinan besar terdapat teksur di bidang ini

yaitu (220), sedangkan tertinggi kedua yang tingginya berbeda tipis dari yang pertama yaitu $42,5415^\circ$, kemungkinan terjadi tekstur yang kuat dibidang ini yaitu (111) lihat Gambar 4.66 dan Tabel 4.6.



Gambar 4.65. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.



Gambar 4.66. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan ($Al > 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.

Tabel 4.5. Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.

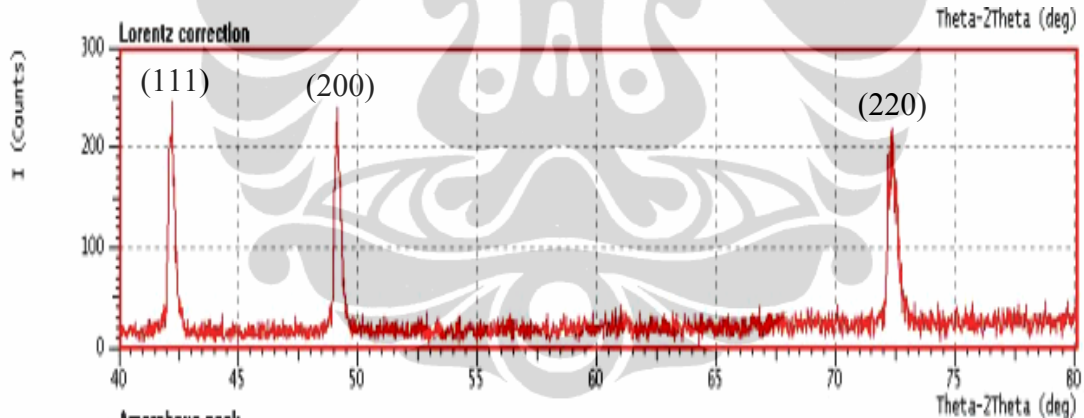
crystal system: Cubic		no.	d	angle	H	K	L
X-ray		1	3.6771	24.1847	1	0	0
target : Cu		2	2.6001	34.4664	1	1	0
wavelength: 1.54060		3	2.1229	42.5500	1	1	1
lattice constants		4	1.8385	49.5400	2	0	0
a =	3.67705369 (Å)	5	1.6444	55.8649	2	1	0
b =	3.67705369 (Å)	6	1.5012	61.7464	2	1	1
c =	3.67705369 (Å)	7	1.3000	72.6724	2	2	0
alpha =	90. (deg)	8	1.2257	77.8739	3	0	0
beta =	90. (deg)	9	1.1628	82.9756	3	1	0
gamma =	90. (deg)	10	1.1087	88.0217	3	1	1
		11	1.0615	93.0524	2	2	2
		12	1.0198	98.1069	3	2	0
		13	0.9827	103.2259	3	2	1
		14	0.9193	113.8493	4	0	0
		15	0.8918	119.4789	4	1	0

Sample : 3f0t

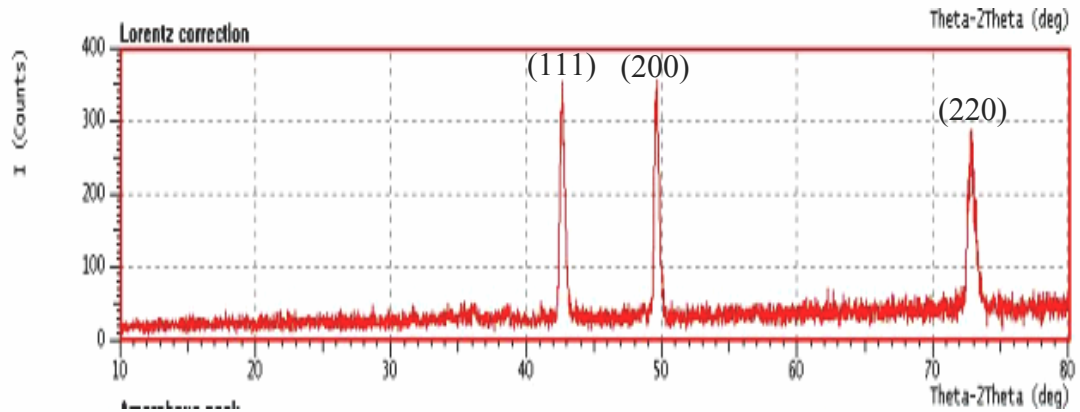
Tabel 4.6. Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan ($Al > 0,03\%$) setelah pengerolan dingin.

crystal system: Cubic		no.	d	angle	H	K	L
X-ray		1	3.6770	24.1801	1	0	0
target : Cu		2	2.6006	34.4596	1	1	0
wavelength: 1.54060		3	2.1234	42.5415	1	1	1
lattice constants		4	1.8389	49.5300	2	0	0
a =	3.67775059 (Å)	5	1.6447	55.8534	2	1	0
b =	3.67775059 (Å)	6	1.5014	61.7334	2	1	1
c =	3.67775059 (Å)	7	1.3003	72.6565	2	2	0
alpha =	90. (deg)	8	1.2259	77.8564	3	0	0
beta =	90. (deg)	9	1.1630	82.9564	3	1	0
gamma =	90. (deg)	10	1.1089	88.0007	3	1	1
		11	1.0617	93.0295	2	2	2
		12	1.0200	98.0818	3	2	0
		13	0.9829	103.1985	3	2	1
		14	0.9194	113.8159	4	0	0
		15	0.8920	119.4417	4	1	0

Setelah dilakukan anil optimal pada temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit, dari sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan, dilihat dari ketinggian intensitas difraksi Sinar Xnya yang tertinggi pada sudut 2θ yaitu 42,5584° kemungkinan besar terdapat tekstur di bidang ini yaitu (111), sedangkan tertinggi kedua dengan perbedaan tinggi yang tipis dari tertinggi pertama yaitu 49,5500°, kemungkinan terdapat tekstur dibidang (200), kemudian puncak difraksi yang kuat ketiga terakhir yaitu 72,6884° kemungkinan juga terdapat tekstur pada bidang (220) lihat Gambar 4.67, Tabel 4.7. Dari sampel kadar aluminium melebihi persyaratan, dilihat dari ketinggian intensitas difraksi Sinar Xnya yang tertinggi terdapat dua puncak yang hampir sama ketinggiannya pada sudut 2θ yaitu 42,6065° kemungkinan terjadi tekstur dibidang (111) dan 49,6070° kemungkinan terjadi tekstur dibidang (200), sedangkan ketinggian puncak ketiga pada sudut 2θ yaitu 72,7792° kemungkinan juga terjadi tekstur dibidang (220) lihat Gambar 4.68, Tabel 4.8.



Gambar 4.67. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah anil temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit.



Gambar 4.68. Intensitas difraksi X Ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan ($Al > 0,03\%$) setelah anil temperatur $600^{\circ}C$ dan waktu tahan 3 menit.

Tabel 4.7. Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium memenuhi persyaratan ($Al \leq 0,03\%$) setelah anil temperatur $600^{\circ}C$ dan waktu tahan 3 menit.

crystal system: <input type="text" value="Cubic"/>		no.	d	angle	H	K	L
X-ray		1	3.6764	24.1894	1	0	0
target : <input type="text" value="Cu"/>		2	2.5996	34.4731	1	1	0
wavelength: <input type="text" value="1.54060"/>		3	2.1225	42.5584	1	1	1
lattice constants		4	1.8382	49.5500	2	0	0
a = <input type="text" value="3.67635942"/> (Å)		5	1.6441	55.8764	2	1	0
b = <input type="text" value="3.67635942"/> (Å)		6	1.5009	61.7593	2	1	1
c = <input type="text" value="3.67635942"/> (Å)		7	1.2998	72.6884	2	2	0
alpha = <input type="text" value="90."/> (deg)		8	1.2255	77.8914	3	0	0
beta = <input type="text" value="90."/> (deg)		9	1.1626	82.9947	3	1	0
gamma = <input type="text" value="90."/> (deg)		10	1.1085	88.0426	3	1	1
		11	1.0613	93.0752	2	2	2
		12	1.0196	98.1318	3	2	0
		13	0.9825	103.2532	3	2	1
		14	0.9191	113.8825	4	0	0
		15	0.8916	119.5160	4	1	0

Sample : 3f2t

Tabel 4.8. Hubungan antara bidang kristal yang terjadi dengan sudut 2θ dari puncak intensitas difraksi X ray pada sampel kadar aluminium melebihi persyaratan (Al . 0,03%) setelah anil temperatur 600°C dan waktu tahan 3 menit.

crystal system: <input type="text" value="Cubic"/>		no.	d	angle	H	K	L
X-ray		1	3.6724	24.2158	1	0	0
target : <input type="text" value="Cu"/>		2	2.5968	34.5114	1	1	0
wavelength: <input type="text" value="1.54060"/>		3	2.1203	42.6065	1	1	1
lattice constants		4	1.8362	49.6070	2	0	0
a =	<input type="text" value="3.67240429"/> (Å)	5	1.6423	55.9418	2	1	0
b =	<input type="text" value="3.67240429"/> (Å)	6	1.4993	61.8331	2	1	1
c =	<input type="text" value="3.67240429"/> (Å)	7	1.2984	72.7792	2	2	0
alpha =	<input type="text" value="90."/> (deg)	8	1.2241	77.9912	3	0	0
beta =	<input type="text" value="90."/> (deg)	9	1.1613	83.1039	3	1	0
gamma =	<input type="text" value="90."/> (deg)	10	1.1073	88.1619	3	1	1
sample : A7ZT		11	1.0601	93.2055	2	2	2
		12	1.0185	98.2742	3	2	0
		13	0.9815	103.4092	3	2	1
		14	0.9181	114.0724	4	0	0
		15	0.8907	119.7280	4	1	0

Melalui analisa difraksi Sinar X, dapat diketahui ukuran, bentuk, arah dan berbagai cacat-cacat struktur kristal, sehingga mendapatkan informasi yang berharga tentang deformasi dan proses rekristalisasi, yang tidak dapat dicapai oleh metoda-metoda yang lain misalnya dengan mikroskop optik atau SEM, karena kristal di dalam material ukurannya tidak lebih besar dari sepuluh mikrometer, sehingga difraksi Sinar X dapat menguntungkan untuk menggambarkan dan mempelajari deformasi plastis, karena deformasi dapat merubah bentuk kristal sebagai contoh misalnya butir, jarum, pelat, pita dll. Melalui mikroskop optik maupun SEM hanya diketahui bentuk dan ukuran butir saja, sedangkan pengelompokan arah butirnya tidak dapat dideteksi, oleh sebab itu untuk dapat menganalisa terjadinya pergeseran bidang kristal akibat deformasi dingin maupun anil, dapat digunakan metoda difraksi Sinar X, karena bidang-bidang yang ada di didalam material dapat mendifraksikan Sinar X yang disorotkan ke material, pada bidang yang tinggi intensitas difraksi Sinar X nya dapat dideteksi.

Demikian juga mendeteksi kemungkinan terdapatnya fasa-fasa non logam yang terbentuk pada saat pepaduan, ditunjukkan dengan terdapatnya puncak-

puncak difraksi Sinar X yang banyak, dibandingkan dengan fasa logam yang memiliki struktur kristal teratur hanya sedikit puncak difraksi Sinar Xnya, kecenderungan tegangan sisa yang dialami di material baik itu di permukaan maupun tengah juga dapat dideteksi keberadaan tegangan sisanya, sekaligus diukur secara kuantitatif tegangan sisanya dengan mengamati perubahan intensitas difraksi Sinar Xnya^[11-13,15-20,42,44,46].

Dari pengamatan intensitas difraksi Sinar X pada sampel setelah mengalami pengerolan dingin baik itu dari sampel dengan kadar aluminium memenuhi syarat (kadar Al $\leq 0,03\%$) maupun yang melebihi syarat (kadar Al $> 0,03\%$) menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu di dapatkan intensitas difraksi Sinar X yang tertinggi pada bidang (220) dan yang kedua bidang (111), khusus untuk bidang (111) pada sampel yang kadar aluminiumnya memenuhi persyaratan, intensitas difraksi Sinar X nya lebih rendah, dibandingkan sampel yang kadar aluminiumnya melebihi syarat, hal ini disebabkan oleh kemungkinan adanya perbedaan besar butir dan sedikit perbedaan komposisi kimia oleh kadar aluminium diantara kedua sampel tersebut, yang dapat berpengaruh terhadap parameter kisi, yang kemudian berpengaruh terhadap besar kecilnya jarak antar bidang kristal difraksi, sehingga pola puncak pantulan pada sudut dan intensitasnya juga berbeda, dimana dengan semakin rapatnya jarak antar bidang kristal difraksi, maka kepadatan elektron dan unit selnya makin tinggi sehingga intensitas difraksi sinar makin tinggi^[11-13,15-20,42,44,46].

Sifat fisik dari material benda padat tergantung dari penyusunan atom yang menjadikan benda tersebut padat dan sekaligus terdapat jarak antar susunan atom diantara mereka, kemudian atom tersebut tersusun di dalam struktur kristal, yang merupakan kombinasi ukuran dan bentuk unit sel, serta penyusunan atomnya di dalam unit sel, kemudian bentuk dari unit sel ditunjukkan oleh kesimetrisan dari kisi-kisi kristalnya. Ukuran unit sel diistilahkan dengan parameter unit sel atau parameter kisi yang menunjukkan panjang dan sudut antar unit sel. Dari penyusunan atom-atom ini dalam kristal maka posisi Sinar X yang didifraksikan oleh struktur kristal dapat berhubungan dengan ukuran dan bentuk unit sel. Proses

difraksi Sinar X oleh kristal merupakan pemantulan atau pembiasan Sinar X dari bidang atom di dalam kristal. Tingginya intensitas difraksi Sinar X pada kedua bidang itu, disebabkan pada saat sampel di putar pada sudut tersebut, dari lokasi atom-atom yang terkumpul pada bidang (111) dan (220), maka akan terjadi pemantulan difraksi Sinar X nya yang tinggi. Dari pengamatan intensitas difraksi Sinar X pada sampel setelah mengalami anil optimal temperatur 600°C waktu 3 menit, dari sampel dengan kadar aluminium memenuhi syarat (kadar Al \leq 0,03%) maupun melebihi persyaratan (kadar Al $>$ 0,03%) di dapatkan tiga intensitas difraksi Sinar X tertinggi yang sama persis, yaitu bidang (111), (200) dan (220)^[11-13,15-20,42,44,46]

Perubahan kecenderungan bidang kristal setelah pengerolan dingin ke proses anil optimal, disebabkan jika material yang dirubah bentuk dingin dianil atau dilunakan, kristal bidang awal setelah pengerjaan dingin akan berubah total ketika rekristalisasi menjadi kristal bidang rekristalisasi. Perubahan kecenderungan kristal bidang disebabkan oleh perbedaan arah butir, pada saat deformasi pengerolan dingin pada posisi memanjang, sesuai dengan arah gaya pengerolan. Butir-butir tersebut mengalami distorsi akibat dari peningkatan kerapatan dislokasi, baik di dalam maupun batas butir sehingga struktur mikro dalam kondisi tidak stabil. Penambahan proses anil optimal temperatur 600°C waktu 3 menit, menyebabkan batas butir dan butir yang kondisinya tidak stabil, berperan sebagai inti butir baru bebas tegangan (rekristalisasi), dengan arah butir yang berbeda atau baru sama sekali oleh karena itu di dapatkan puncak difraksi Sinar X yang berbeda dengan sudut difraksi juga berbeda, akan tetapi bidang yang terdifraksi tetap berkisar diantara (111), (200) dan (220) karena menunjukkan indikasi kecenderungan tekstur (pengarahan kristal ke arah tertentu) akibat deformasi maupun anil^[11-13,15-20,42,44,46].

Tekstur lebih detailnya ditunjukkan oleh notasi (hkl)<uvw> dimana (hkl) menunjukkan bidang sedangkan <uvw> menunjukkan arah bidang, data tekstur ini tidak bisa didapatkan karena memerlukan tambahan data pengukuran intensitas difraksi Sinar X pada 2 (dua) sudut lagi, melalui tambahan peralatan *Four Circle*

Diffractometer (FCD) pada bidang (111) dan (220) sebagai bidang proyeksi stereo, sehingga di dapatkan gambar kutub yang diolah melalui *software computer*, yang hasilnya menunjukkan pulau-pulau dari kumpulan data notasi $(hkl)\langle uvw \rangle$. Jika tersebar merata berarti tekstur pada bidang itu lemah, tapi jika ada yang terpusat di sebagian kecil lokasi, berarti terjadi tekstur yang kemudian dapat diketahui notasi $(hkl)\langle uvw \rangle$ nya^[11-13,15-20,42,44,46].

