KLASIFIKASI BIJI PINANG BELAH PADA PENGEMBANGAN MESIN SORTIR PINANG MENGGUNAKAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL

CLASSIFICATION OF ARECA NUT ON THE DEVELOPMENT OF ARECA SORTING MACHINE USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

Puji Hartono[1], Trismiyati[2]
[1]Balai Besar Logam dan Mesin, [2]Balai Besar Logam dan Mesin
Jl. Sangkuriang No.12 Bandung 40135
Email: puji_bandung@yahoo.com, trismiyati@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Klasifikasi biji pinang belah merupakan tahapan penting dalam menentukan kualitas dan nilai ekonominya. Selama ini pengekspor biji pinang Indonesia melakukan tahapan ini secara visual berdasarkan warna dengan tenaga manusia. Cara ini memiliki beberapa kelemahan antara lain: akurasi rendah, tidak konsisten, dan kapasitasnya rendah. Oleh karena itu, pengolahan citra digital biji pinang belah digunakan sebagai alternatif untuk mengklasifikasikannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hasil pengolahan citra digital sampel biji pinang belah. Sampel yang digunakan telah ditetapkan kualitas baik dan jeleknya. Pengolahan citra dimulai dengan pengambilan citra oleh kamera, kemudian citra biner dibentuk dengan teknik *threshold*. Selanjutnya citra ini dipisahkan dengan *background*-nya. Kemudian dilakukan perhitungan jumlah pixel dan dihitung nilai komponen berbagai model warna berdasar nilai RGB. Analisa data dilakukan pada model warna RGB, Indek RGB, dan Y'UV. Nilai komponen model warna dibandingkan satu dengan yang lain untuk dapat membedakan kualitas biji pinang belah. Dasar klasifikasi kualitas pinang yang bisa digunakan adalah warna R, G, indek B, Y' dan U. Hasil pengujian sampel uji menunjukkan bahwa akurasi terbesar adalah nilai U pada model warna Y'UV yaitu senilai 96%.

Kata kunci: klasifikasi, biji pinang belah, pengolahan citra, RGB, indek RGB, Y'UV

ABSTRACT

Classification split betel nut is an important step in determining the quality and economic value. So far, Indonesia betel nut exporter perform this stage is visually based on color by human power. This method has several disadvantages, among others: the accuracy is low, inconsistent, and low capacity. Therefore, the digital image processing split betel nut used as an alternative to classify. This study aimed to analyze the results of digital image processing samples split betel nut. The samples used predefined quality is good and bad. Image processing begins with the image capture by the camera, then the binary image is formed with a threshold technique. Furthermore, the image is separated from the background. Then calculate the number of pixels and the calculated value of the various components of the RGB color model based on value. Data analysis is done on the RGB color model, RGB index, and Y'UV. Value color model components compared with each other to be able to distinguish the quality betel nut sides. Basic classification of quality nut that can be used is the color of R, G, B index, Y 'and U. The test results show that the test sample is the greatest accuracy on the U value Y'UV color model that is worth 96%.

Keywords: *classification, areca nuts split, image processing, RGB, RGB index, Y'UV*

PENDAHULUAN

Biji pinang merupakan hasil pertanian yang memiliki banyak manfaat, seperti mengatasi berbagai jenis penyakit, mengatur pencernaan dan mencegah kantuk, bahan kosmetik dan pelangsing, bahan baku obat, dan sebagai antidepresi.[1] Berbagai bentuk biji pinang ada di pasaran berupa biji utuh, belah, maupun irisan. Biji pinang belah berkualitas baik memiliki ciri berwarna coklat muda bercorak putih. Biji berkualitas rendah berwarna coklat tua.

Klasifikasi biji pinang belah merupakan tahapan penting dalam menentukan kualitas dan nilai ekonominya. Selama ini pengekspor biji pinang Indonesia melakukan tahapan ini

secara visual berdasarkan warna dengan tenaga manusia. Cara ini memiliki beberapa kelemahan antara lain: akurasi rendah, tidak konsisten, dan kapasitasnya rendah. Di Indonesia telah dikembangkan mesin sortir yang memisahkan biji pinang berdasarkan ukuran besar kecilnya dan utuh pecahnya. Adapun untuk sortir berdasarkan warna masih belum banyak yang mengembangkannya.

Gambar 1 menunjukkan contoh gambar biji pinang hasil panen.

Gambar 1. Biji pinang

Petani memanen biji pinang, kemudian membelahnya menjadi 2 untuk agar mudah dalam memisahkan biji dengan serabutnya.

LANDASAN TEORI

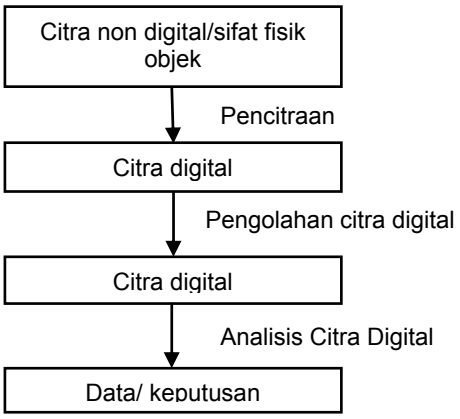
Pengolahan pasca panen

Setelah biji pinang dipanen petani, maka petani menjualnya ke pembeli, salah satunya adalah eksportir. Eksportir mengolah biji pinang terlebih dahulu sebelum dijual. Beberapa tahapan pengolahan yang dilakukan adalah

- Pengeringan
- Pembersihan biji pinang
- Penyortiran berdasarkan warna permukaan dalam

Pengolahan Citra Digital

Dalam bidang komputer *vision*, secara umum proses yang terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Urutan pengolahan citra digital

Citra digital

Citra digital tersusun atas titik-titik yang berupa persegi panjang atau bujur sangkar atau segi enam yang membentuk baris-baris dan kolom-kolom. Masing masing titik mempunyai koordinat dan juga memiliki angka digital yang merepresentasikan informasi yang diwakili titik tersebut. Format citra digital yang banyak dipakai adalah citra biner, skala keabuan, warna, dan warna berindeks.

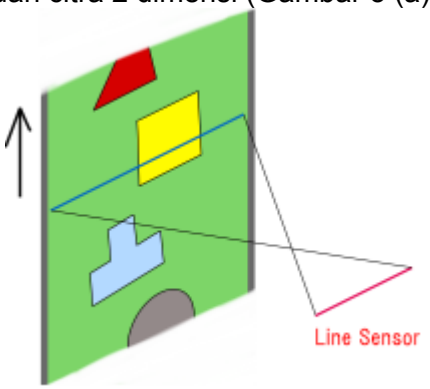
- Citra biner memiliki dua nilai saja yaitu 0 (hitam) atau 1(putih).
- Citra skala keabuan dengan jumlah 8 bit data yang digunakan akan memberikan nilai warna minimal 0 (hitam) dan maksimum 2^8 -1 atau 255 (putih).
- Pada citra warna/RGB setiap titik memiliki warna spesifik yang merupakan kombinasi tiga warna dasar yaitu merah, hijau, dan biru. Masing-masing warna memiliki intensitas maksimum 255 (8 bit) sehingga setiap titik pada citra warna perlu data 3 byte.

Jenis kamera: *Line Scan vs Area Scan*

Jenis kamera ada 2:

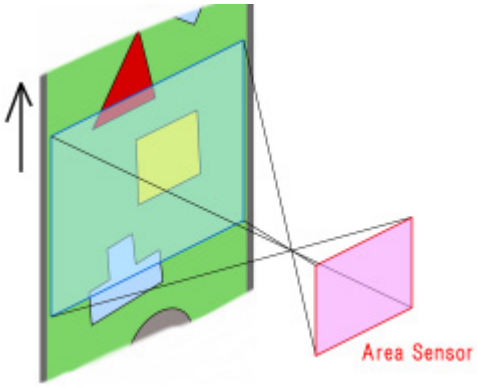
- *Line Scan Camera,* kamera 1 dimensi. Contoh penggunanya seperti di *Flatbed Scanner*
- *Area Scan Camera*, kamera 2 dimensi. Contoh penggunaannya seperti pada kamera yang umum dikenal, seperti pada *smartphone*

Pada *line scan*, objek diambil pergaris yang kemudian disusun untuk menjadi sebuah citra 2 dimensi (Gambar 3 (a))



Gambar 3 (a) *Line scan camera*

Pada *area scan camera*, objek diambil citranya sekaligus dalam bentuk 2 dimensi (Gambar 3(b)).



Gambar 3 (b) *Line scan camera*

Teknik *Threshold*

Teknik Threshold merupakan teknik digunakan untuk mengubah citra skala keabuan ke citra biner yang hanya memiliki dua nilai (0 atau 1). Dalam hal ini, titik yang mempunyai nilai keabuan tertentu diubah menjadi warna hitam dan sisanya menjadi putih. Tujuan teknik ini untuk menonjolkan citra suatu objek dari latar belakangnya.

Model Warna

RGB *merupakan* model warna merupakan model warna yang terdiri dari tiga warna primer yaitu merah(R), hijau (G) dan biru (B). Indeks RGB terdiri dari Indeks R (I_R),indeks G(I_G), dan Indeks B (I_B) diperoleh dengan persamaan (1) ,(2), dan (3).

$$I_R = \frac{R}{R+G+B} \quad (1)$$

$$I_G = \frac{G}{R+G+B} \quad (2)$$

$$I_B = \frac{B}{R+G+B} \quad (3)$$

Model warna Y'UV merupakan model warna yang nilai komponennya diturunkan dari komponen warna RGB.Hubungan ini ditunjukan persamaan 4.[3]

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan

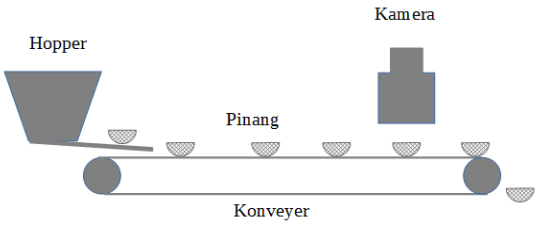
- Y' = derajat keabuan/nilai Chromasity
- U dan V = komponen krominansi
- R =rata-rata nilai *red* (merah)
- G = rata-rata nilai *green* (hijau)
- B = rata-rata nilai *blue* (biru)

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2014 di Balai Besar Logam dan Mesin Bandung. Bahan yang digunakan adalah biji pinang belah grade baik dan jelek yang telah diklasifikasikan secara visual dengan tenaga manusia. Sampel tersebut berasal dari perusahaan CV. Rasdi & CO, Padang. Website perusahaan ini adalah rasdico.com.

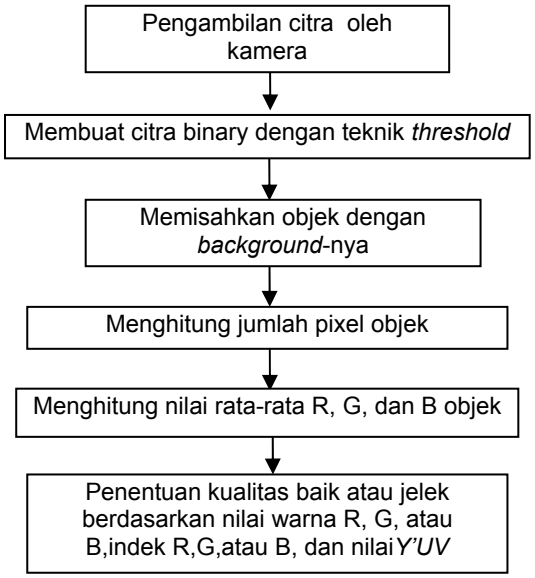
Peralatan yang digunakan adalah mesin sortir dengan sistem conveyor, kamera Avtech AVM284D resolusi 2 Mp, dan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan dengan compiler C dengan framework OpenCV.

Secara umum, skema penelitian ini digambarkan sebagai berikut



Gambar 4. Skema penelitian klasifikasi pinang

- Pengambilan citra oleh kamera dilakukan pada sampel biji pinang belah terbuka yang diam di atas conveyor yang bergerak dengan kecepatan 20cm/detik.
- Warna konveyor dipilih yang warna putih, yang kontras dengan objek, untuk menghasilkan *threshold* yang baik.[8]
- Pengambilan citra permukaan dalam pinang belah (bagian dalam) dilakukan pada kondisi cahaya tertentu yang diukur dengan lightmeter.
- Objek pengamatan tiap biji pinang diambil sebesar 200x200 piksel.
- Pengolahan citra biji pinang belah dilakukan dengan metodologi dalam Gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok metodologi klasifikasi biji pinang belah berdasarkan pengolahan citra digital

Berikut ini contoh citra pinang yang dihasilkan

- Gambar 6 menunjukkan contoh sampel citra biji pinang belah yang diambil dari kamera Avtech AVM284D. Hasil pengambilan citra kamera berupa citra format MPEG. Citra tersebut tersusun dari titik berbentuk bujur sangkar dimana masing-masing titik memiliki informasi RGB.

Gambar 6. Citra pinang semula

- Kemudian dikonversi dalam *binary* dengan *threshold* sehingga menghasilkan gambar seperti berikut ini

Gambar 7. Citra pinang dalam format binary

- Setelah objek dipisahkan dengan *background*-nya (Gambar 8), langkah selanjutnya adalah mengeluarkan fitur citra dari objeknya. Rata-rata nilai R, G, dan B diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai R, G, dan B dibagi dengan jumlah piksel (luas area objek).

Gambar 8. Citra pinang yang telah dipisahkan dengan *background*

Klasifikasi dilakukan dengan menganalisis data sampel berdasarkan komponen model warna RGB, indek RGB, dan nilai Y'UV. Dari hasil analisis selanjutnya dipilih komponen warna yang dapat dijadikan pembeda kualitas pinang. Aturan kualitas diturunkan dari hasil analisis statistik rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas citra

Terdapat perbedaan signifikan ketajaman citra antara pengambilan citra pada objek diam dibandingkan dengan ketika objek bergerak.

- Berikut ini adalah citra ketika objek diam (Gambar 9).

Gambar 9 . Citra ketika objek diam

- Berikut ini adalah citra pada objek bergerak 20 cm/detik (Gambar 10)

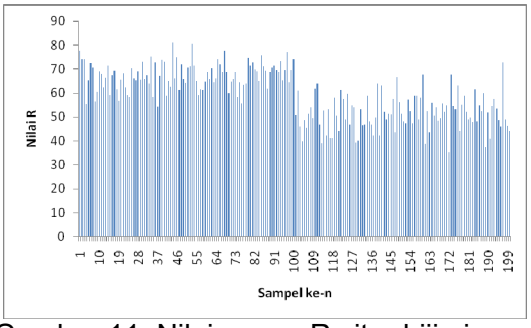
Gambar 10 . Citra ketika objek bergerak 20cm/detik

Pengklasifikasian

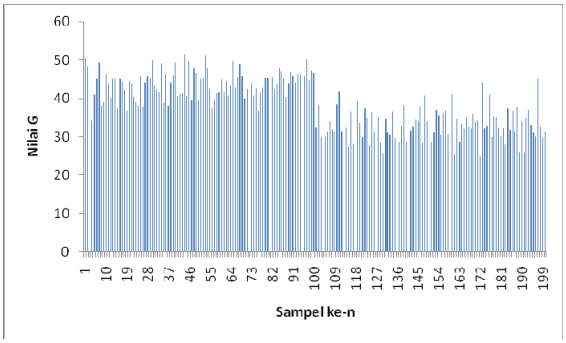
Pengujian dengan cara

- Pengambilan citra digital biji pinang belah acuan dilakukan sejumlah 200. Sampel ke-1 sampai ke-100 adalah sampel biji pinang belah kualitas baik. Sampel ke-101 sampai dengan 200 adalah biji pinang belah *kualitas* jelek.
- Cahaya di posisi pengambilan data citra pinang terukur rata-rata senilai 257 lux.
- Resolusi video yang dipilih adalah 1080P.
- Kecepatan objek 20 cm/det

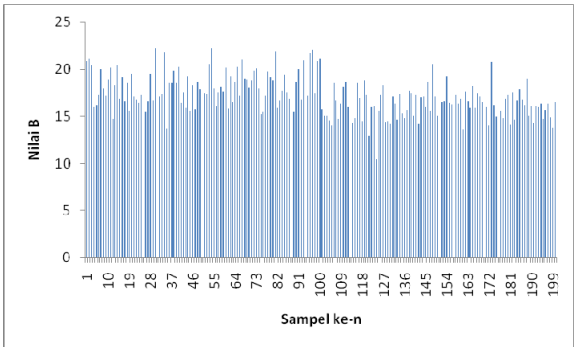
Hasil pengolahan citra digital sampel biji pinang belah ditunjukkan pada Gambar 11, 12 dan Gambar 13 Gambar grafik tersebut menunjukkan data nilai warna R, G, dan B citra sampel. Nilai warna R dan G dapat dijadikan acuan pembeda kualitas pinang dengan melihat perbedaan nilai R dan G.



Gambar 11. Nilai warna R citra biji pinang belah



Gambar 12. Nilai warna G citra biji pinang belah



Gambar 13.Nilai warna B citra biji pinang belah

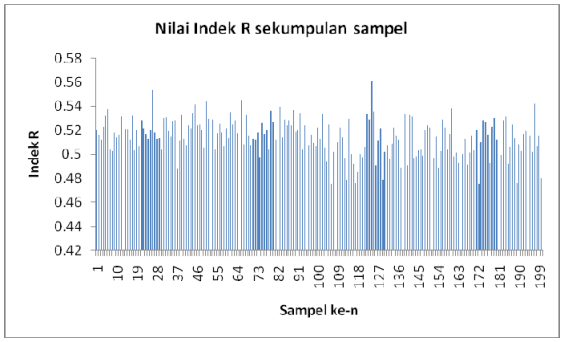
Hasil analisa citra berupa nilai rata-rata dan standar deviasi warna R, G, dan B ditunjukkan pada Tabel I.

Tabel I. Hasil analisa data kumpulan sampel biji pinang belah

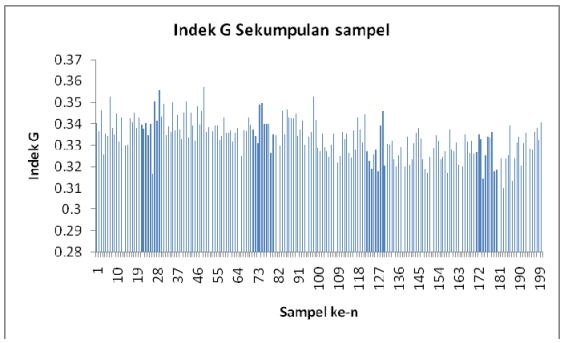
Grade	Nilai Warna			Nilai Standar		
Pinang	Rata-rata (M)			Deviasi Warna(dM)		
Belah	R	G	B	R	G	B
Baik	67,3	43,9	18,2	5,7	3,7	2,0
Jelek	51,5	33,1	16,2	7,3	4,1	1,6
Baik-Jelek	15,8	10,8	2,0			

Dari Tabel I dapat dilihat bahwa informasi nilai warna R dan G merupakan pembeda yang dapat dipilih. Hal ini ditinjau dari perbedaan rata-rata nilai warna R dan G sampel *grade* baik dan jelek. Dengan mengambil nilai warna rata-rata dari rata-rata baik dan jelek, maka diperoleh nilai batas dengan pembulatannya 59 jika ditinjau dari nilai warna R. Sedangkan jika klasifikasi berdasar nilai warna G maka diperoleh nilai batas kualitas adalah 38. Biji pinang belah dengan nilai R lebih dari 59 dipilih sebagai pinang baik, sedangkan pinang dengan nilai R kurang dari atau sama dengan 59 dipilih sebagai pinang jelek. Untuk klasifikasi berdasar nilai G ditentukan bahwa biji pinang dengan nilai warna G lebih besar dari 38 adalah baik dan kurang atau sama dengan dari 38 adalah jelek.

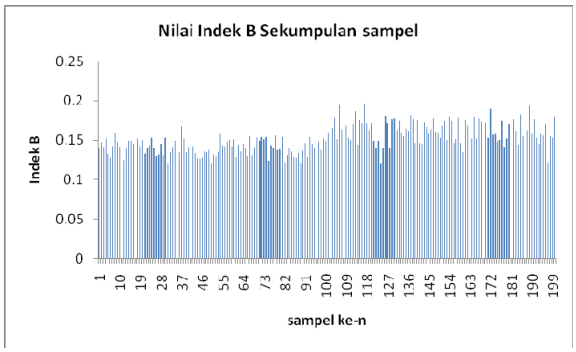
Selanjutnya dilakukan analisa nilai indek R G dan B. Gambar 14 sampai dengan 16 menunjukkan grafik nilai indek R,G,dan B sampel.



Gambar 14. Nilai Indek R citra biji pinang belah



Gambar 15. Nilai Indek G citra biji pinang belah



Gambar 16. Nilai Indek B citra biji pinang belah

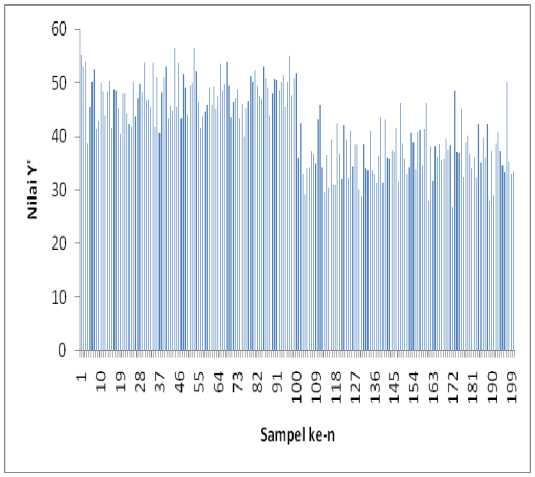
Analisa data sampel berdasarkan nilai indek warna R, G, dan B dapat dilihat di Tabel II

Tabel II. Hasil analisa Indek R, G, dan B citra biji pinang belah

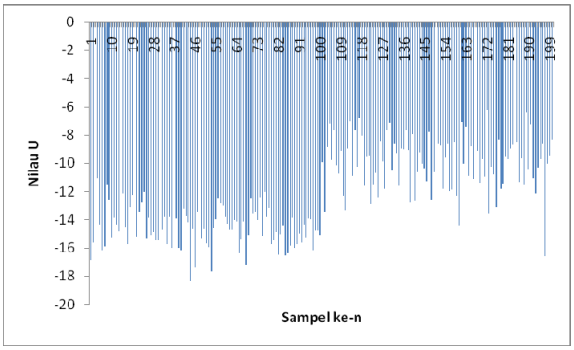
Grade	Nilai Warna			Nilai Standar Deviasi		
Pinang	Rata-rata (W)			Warna(dW)		
Belah	Y'	U	V	Y'	U	V
Baik	47,952	-14,641	16,969	3,958	1,439	1,874
Jelek	36,656	-10,053	13,028	4,687	1,924	2,529
Baik-Jelek	11,296	-4,588	3,941			

Dari tabel II dapat dilihat bahwa informasi nilai indek warna B untuk merupakan pembeda yang paling tepat dipilih di antara nilai indek R, G, dan B. Hal ini ditinjau dari perbedaan rata-rata nilai warna baik dan jelek yang terbesar absolut senilai 0,021. Dengan mengambil nilai warna rata-rata dari rata-rata baik dan jelek diperoleh nilai batasnya 0,151. Biji pinang belah dengan nilai indek B kurang dari 0,151 dipilih sebagai pinang baik, sedangkan pinang dengan nilai R lebih dari dari atau sama dengan 0,151 diklasifikasikan sebagai pinang jelek.

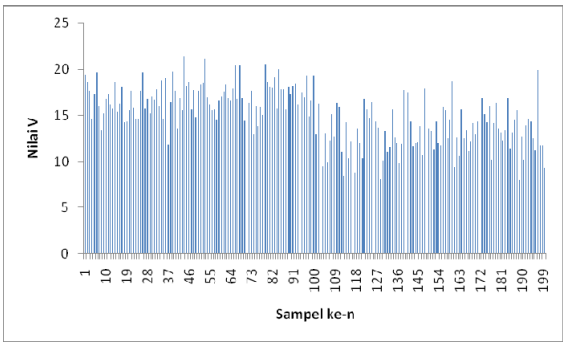
Berikut Gambar 17, 18, dan 19 menunjukkan grafik nilai Y', U, dan V sampel yang diturunkan dari data warna RGB-nya



Gambar 17. Grafik nilai Y' sampel biji pinang belah



Gambar 18. Grafik nilai U sampel biji pinang belah



Gambar 19. Grafik nilai V sampel biji pinang belah

Hasil analisa nilai mode warna Y'UV yang dikonversikan dari nilai warna RGB ditunjukkan oleh Tabel III

Tabel III. Hasil analisa Model Warna Y'UV citra biji pinang belah

Grade	Nilai Indek Warna			Nilai Standar Deviasi		
Pinang	Rata-rata (I)			Indek Warna(dI)		
Belah	R	G	B	R	G	B
Baik	0,520	0,339	0,141	0,011	0,007	0,010
Jelek	0,510	0,328	0,162	0,017	0,007	0,015
Baik-Jelek	0,010	0,011	-0,021			

Dari tabel III dapat dilihat bahwa informasi nilai Y' (*chromasity*) dapat menjadi pembeda pinang belah kualitas baik dan jelek. Batas kedua kualitas dihitung dengan mengambil nilai warna rata-rata dari rata-rata baik dan jelek. Ketentuan ini menghasilkan nilai 42,304 dibulatkan 42. Biji pinang belah dengan nilai *chromasity* lebih dari 42 diklasifikasikan pinang baik. Biji pinang

dengan Y' kurang dari atau sama dengan 42 diklasifikasikan pinang kualitas jelek.

Selain nilai Y', nilai U juga dapat dijadikan pembeda kualitas. Biji pinang belah dengan nilai U <(-12,347) diklasifikasikan sebagai pinang kualitas baik. Sedangkan pinang belah dengan nilai U >=(-12,347), maka diklasifikasikan sebagai pinang kualitas jelek.

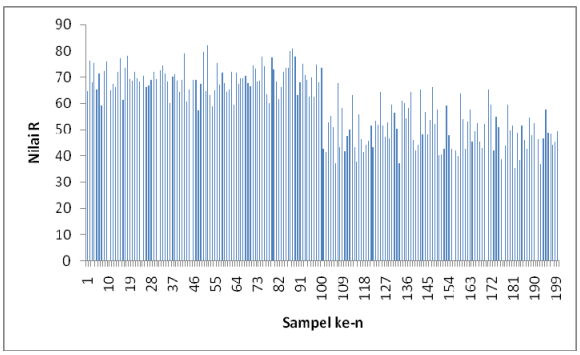
Berdasarkan hasil analisis data sampel diperoleh aturan klasifikasi seperti yang ditunjukkan di Tabel IV.

Tabel IV. Aturan klasifikasi biji pinang belah

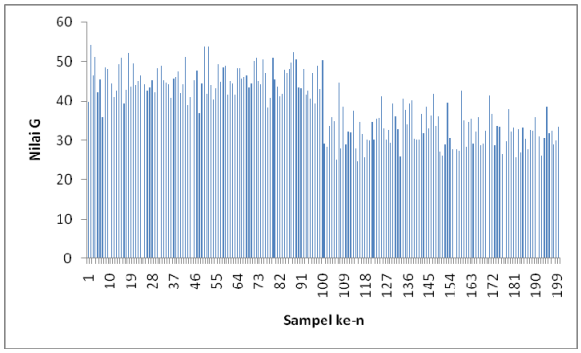
Nilai Acuan Klasifikasi	Kualitas	
	Baik	Jelek
R	>59	<=59
G	>38	<=38
Indeks B	<0,151	>=0,151
Y'	>42	<=42
U	< (-12,347)	>=(-12,347)

Klasifikasi berdasar aturan nilai warna R, G, indek B, Y' dan U diujikan pada 200 sampel pinang belah. Sampel ke-1 sampai dengan ke-100 untuk kualitas baik dan sampel ke-101 sampai dengan 200 sampel pinang kualitas jelek. Selanjutnya dihitung prosentase rata-rata sampel yang sesuai aturan kualifikasinya.

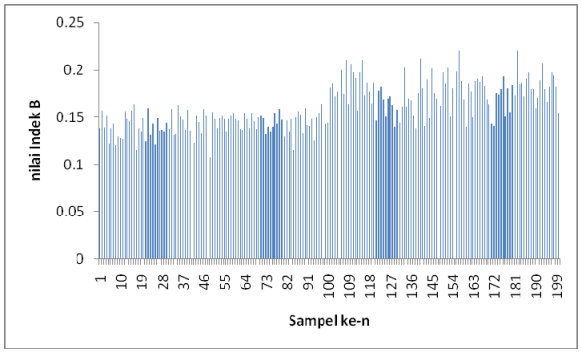
Gambar 20, 21, 22, 23 dan Gambar 24 menunjukkan grafik pengolahan citra sampel uji akurasi.



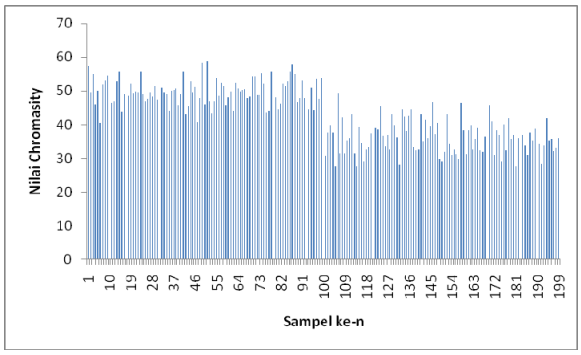
Gambar 20. Grafik nilai R citra sampel uji biji pinang belah



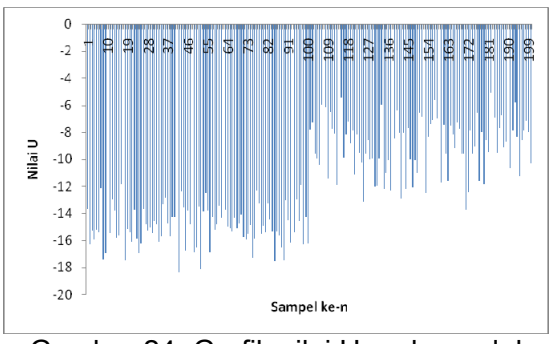
Gambar 21. Grafik nilai G citra sampel uji biji pinang belah



Gambar 22. Grafik nilai indek B citra sampel uji biji pinang belah

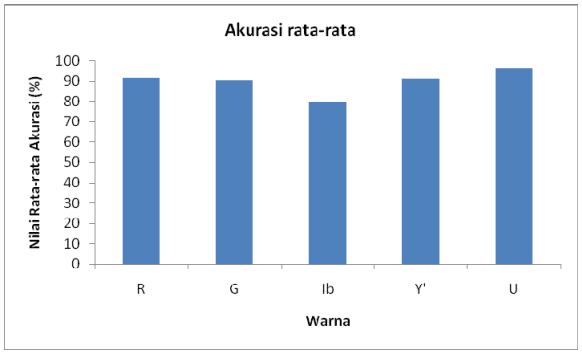


Gambar 23. Grafik nilai Y'(chromasity) citra sampel uji biji pinang belah



Gambar 24. Grafik nilai U pada model warna Y'UV citra sampel uji biji pinang belah

Berdasarkan klasifikasi hasil analisis data sampel sebelumnya pada tabel IV maka diperoleh prosentase akurasi Gambar 25.



Gambar 25. Akurasi Klasifikasi

Berdasarkan nilai akurasi terbesar maka dipilih nilai U citra biji pinang belah sebagai dasar kualitas biji pinang belah.

KESIMPULAN

- Citra yang dihasilkan pada pengambilan gambar saat objek bergerak kurang tajam (terjadi blur).
- Biji pinang kualitas baik dan jelek dapat dibedakan dari nilai R, G, indeks B,maupun Y' (*chromasity*), maupun U.
- Pada klasifikasi biji pinang, ketajaman citra tidak signifikan, dari percobaan didapatkan hasil bahwa walaupun citra tidak tajam akan tetapi krominansi mewakili dalam penentuan kualitas.
- Biji pinang belah kualitas baik dipilih dengan nilai U kurang dari -12,347 dan biji kualitas jelek ditetapkan memiliki nilai lebih besar dari atau sama dengan-12,347. Ketentuan ini menghasilkan akurasi terbaik senilai 96 %.

SARAN

- Penggunaan *line scan camera* agar citra yang didapatkan pada objek bergerak menjadi lebih tajam (tidak blur).
- Penggunaan warna *background* dengan warna yang lain yang dapat memisahkan dengan jelas objek dengan background akan tetapi tidak ada citra objek yang terbuang, dari hasil pemisahan objek dengan background terlihat ada objek yang terbuang karena sama-sama putih seperti warna background.

DAFTAR PUSTAKA

Novarianto H., 2012 Prospek Pengembangan Tanaman Pinang, Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Volume 34 No 1 Tahun 2012, hal 10-11, http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/wr341124.pdf tanggal akses 26 November 2014

Achmad B. Dan Firdausy K., 2013, Pengolahan Citra Digital Menggunakan Delphi, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Usman Ahmad. 2005. "Pengolahan Citra Digital", Penerbit Graha Ilmu.

John Daintith and Edmund Wright. 2008 "A Dictionary of Computing", Oxford

Haivision Network Video, "Understanding End-to-End Latency for Network Video Applications".

Rafael C. Gonzales. 2008. "Digital Image Processing, third edition", Pearson Prentice Hall

Eko Prasetyo. 2011. "Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya menggunakan Matlab", Penerbit Andi

Sulistiyono, S.B., Ahmad U., Subrata, I.D. M., 2008, Pemutuan Buah Jeruk Siam Pontianak (Citrus nobilis var. microcarpa) Dengan Teknik Pengolahan Citra, Sekolah Pascasarjana IPB Bogor.

ANALISA SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA PROSES FRICTION STIR WELDING ALUMUNIUM 5052

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES AND MICRO STRUCTURE IN THE PROCESS OF FRICTION STIR WELDING ALUMINUM 5052

Tarmizi[1], Boy Prayoga[2]
[1]Balai Besar Logam dan Mesin Bandung
[2]Jurusan Teknik Metalurgi, Unjani Bandung
tarmizi@kemenperin.go.id

ABSTRAK

Friction stir welding (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi solid state atau logam tidak meleleh saat di lakukan penyambungan. Metoda ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan untuk material khususnya alumunium yang biasanya harus di heat treatment terlebih dahulu sebelum dilakukan pengelasan, metoda FSW ditemukan oleh W.Thomas dari The Welding Institute (TWI). Proses FSW dilakukan pada alumunium seri 5052 T0 dengan bentuk sambungan tumpul sebanyak 9 pelat. Parameter yang divariasikan adalah design bentuk pin dengan bentuk segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir. Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengamatan uji radiografi, uji tarik, uji keras dan pemeriksaan metalografi. Hasil penelitian bahwa dengan variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik meningkat serta terjadi penurunan pada pin segitiga ulir. Dari variasi ini hasil kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada silinder ulir sebesar 38.27 HV dan 120.442 MPa

Kata kunci: silinder ulir, segitiga ulir, kerucut ulir

ABSTRACT

Friction stir welding (FSW) is solid state joining technique or the metal didn't melt when joining process. This method is used the characteristic of the parent metal has not change. This process is widely used for materials, especially aluminum heat treatment usually must be done first before welding, FSW method invented by The Welding Institute W. Thomas from the welding institute (TWI). Friction stir welding process is used to alumunium 5052 T-0 to form butt joint as much as nine plate. Parameter which varied is pin design form with form triangle, cylinder and cone with screw. The next testing which includes the observation radiography test, tensile test, hardnest test and metallography examination. The results of the study that the variation of the form triangle screw, cylinder screw and cone screw cause hardness value and tensile strength increase and a decrease to triangle screw. Of variation this thesis hardness and tensile strength was highest in cylinder screw as big as 38.27 HV and 120.442 MPa

Keywords : *Cylinder screw, triangle screw, cone screw*

PENDAHULUAN

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap karat. Aluminium memiliki keuletan yang baik pada kondisi yang dingin dan memiliki daya tahan korosi yang tinggi. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang transportasi, kimia, listrik, bangunan dan alat – alat penyimpanan. Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang kurang baik dan bisa disebut buruk daripada jenis logam yang lainnya. Hal ini disebabkan oleh sifat aluminium itu sendiri sebagai konduktifitas panas yang tinggi, koefisien muai yang besar, reaktif dengan udara membentuk lapisan aluminium oksida serta berat jenis dan titik cairnya yang rendah.

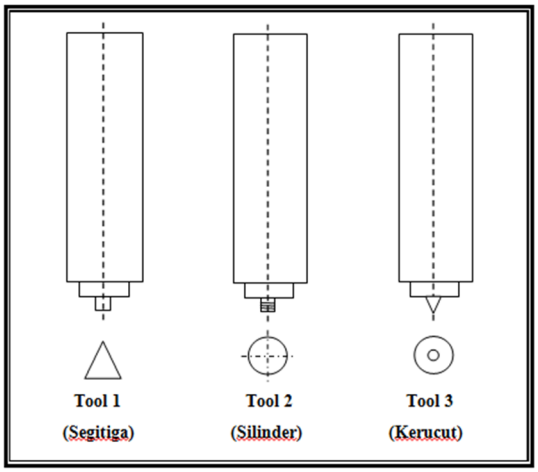
Aluminium terdiri dari beberapa kelompok yang dibedakan berdasarkan paduan penyusunnya. Penambahan paduan ini akan menghasilkan sifat yang berbeda pula. Aluminium seri 5xxx merupakan

paduan aluminium dengan magnesium (Mg), paduan ini mempunyai sifat *corriosion resistance* yang baik. tetapi memiliki sifat mekanis yang cukup tinggi yaitu tegangan tarik maksimum 228 MPa dan tegangan luluh 193 MPa. Material jenis ini banyak sekali digunakan untuk aplikasi pada temperatur rendah (kapal), pesawat terbang, peralatan rumah tangga dan struktur otomotif.

Pada umumnya penyambungan aluminium dilakukan dengan menggunakan proses pengelasan *gas tungsten arc welding* (GTAW) atau *gas metal arc welding* (GMAW). Aluminium mempunyai sifat mampu las yang buruk dari pada baja dikarenakan lapisan oksida pada permukaan aluminium yang menjadi pelindung terhadap korosi. Masalah yang timbul pada pengelasan aluminium tersebut akan diatasi dengan pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW), karena pengelasan ini tidak menggunakan busur las.

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses penyambungan material dengan kondisi *solid* atau dengan kata lain logam tidak meleleh saat dilakukan penyambungan. Metode ini digunakan agar karakteristik dari logam induk tidak banyak berubah. Proses ini banyak digunakan pada material khususnya Aluminium yang biasanya harus di heat treatment terlebih dahulu sebelum melakukan pengelasan jika pengelasan dilakukan dengan pengelasan busur (*arc welding*). Metode FSW ditemukan oleh W.Thomas dan rekan-rekannya dari *The Welding Institute* (TWI), Cambridge pada tahun 1991. Metode pengelasan ini telah banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, otomotif, perkapalan dan industri komersial lainnya karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan pengelasan konvensional lainnya. Kelebihan-kelebihan itu diantaranya proses pengelasan ini memiliki tingkat distorsi yang rendah, tidak memerlukan logam pengisi tidak memerlukan gas pelindung dan tidak menghasilkan asap

Alumunium Seri 5052 merupakan logam yang banyak digunakan di industri kedirgantaraan, namun termasuk logam yang sukar untuk disambung dengan pengelasan, *friction stir welding* merupakan metode pengelasan baru yang dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut, untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bentuk dan dimensi dari probe/tool terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada pengelasan FSW pada material Aluminium 5052. Adapun bentuk dan desain dari probe/tool yang akan digunakan seperti pada Gambar 1.



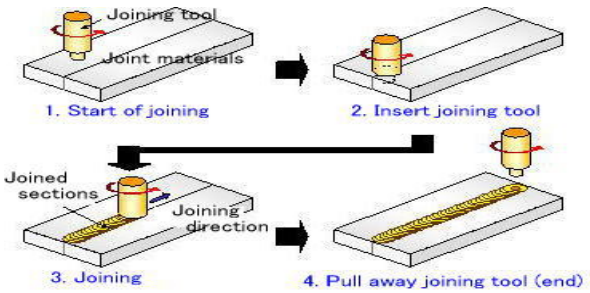
Gambar 1. Shoulder dengan bentuk pin berulir

Proses pengelasan logam secara makro diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu: (1) *Liquid state welding* (LSW), dan (2) *Solid state welding* (SSW). LSW adalah proses pengelasan logam yang dilakukan dalam keadaan cair, sedangkan SSW merupakan proses las di mana pada saat pengelasan, logam dalam keadaan padat. Pengelasan logam secara LSW maupun SSW mempunyai beberapa teknik/metode.

Aluminium memiliki titik lebur 660 °C namun pada prinsip kerja suhu pengelasan dengan metode ini adalah 70% hingga 90% dari titik lebur aluminium, Oleh karena adanya gesekan aduk pada pengelasan ini menimbulkan adalah baik deformasi dan proses termal. Suhu maksimum yang di capai pada Pengukuran termokopel selama FSW paduan aluminium menunjukkan bahwa, secara umum, suhu tetap di bawah 500 ºC. hasil ini harus diperlakukan dengan hati-hati, karena posisi termokopel dalam nugget bergerak cepat sulit untuk memastikan, suhu maksimum biasanya terletak di antara 425 ºC dan 500 ºC. Dengan adanya suhu yang lebih rendah ini, maka akan menghasilkan daerah HAZ yang

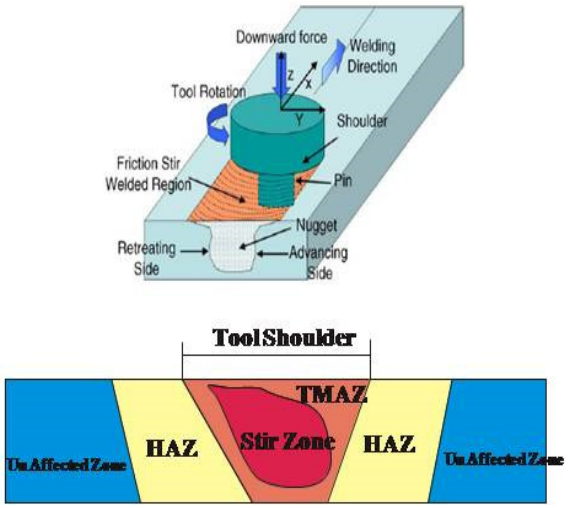
minim dan akan mengurangi tingkat *ductility* dibandingkan metode GTAW. Metode *friction stir welding* ini juga minim distorsi dibandingkan GMAW [C. J. Dawes, 1995].

Friction stir welding adalah salah satu proses *solid-state welding*, dimana pada saat proses menimbulkan gaya gesek pada logam serta panas dari alat yaitu shoulder yang di letak ujungnya terdapat pin berputar bergerak di sepanjang permukaan material melaju ke arah dua material yang telah dijepit seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Panas yang dihasilkan oleh gesekan shoulder pada permukaan dan ke daerah yang lebih dalam sampai permukaan pin sehingga dapat melunakan material yang dilas dan menghasilkan deformasi plastis pada aliran logam plastis yang terjadi sepanjang arah pengelasan. arah rotasi adalah sama dengan pengelasan disebut gerak maju, adapun arah rotasi dengan pihak lain sebagai sisi mundur. Perbedaan ini dapat menyebabkan asimetri dalam perpindahan panas, aliran material dan sifat dari dua sisi las, dengan demikian, kekerasan khususnya paduan aluminium umumnya cenderung pengerasan terjadi lebih rendah di zona yang terkena panas.



Gambar 2. Proses friction stir welding.

FSW melibatkan interaksi kompleks antara berbagai *simultaneous thermomechanical processes*. Interaksi mempengaruhi pemanasan dan tingkat pendinginan, deformasi plastik dan aliran, rekristalisasi dinamis fenomena dan mechanical joint. Sebuah daerah khas FSW gabungan terdiri dari sejumlah zona seperti pada Gambar 3. Daerah yang terkena panas (HAZ) mirip dengan yang di las konvensional meskipun suhu maksimum secara signifikan kurang dari suhu solidus, dan panas dari sumber gesekan akan menyebar. Hal ini dapat menyebabkan adanya perbedaan struktur mikro bila dibandingkan dengan proses pengelasan fusi.

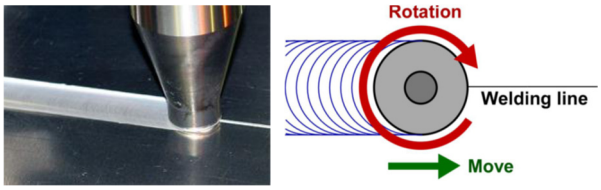


Gambar 3. Skema proses friction stir welding

Wilayah *nugget* tengah disebut *"onion ring"* yang merupakan salah satu yang mengalami deformasi paling besar dampaknya, dan merupakan sebuah hasil di mana ulir shoulder melakukan penetrasi dari depan serta melaju ke belakang las. Daerah *thermo mechanically affected zone* (TMAZ) terletak di antara HAZ dan nugget, yang butiran mikro asli dapat di lihat pada daerah ini, ciri dari proses pengelasan FSW adalah bahwa adanya fenomena panas dihasilkan oleh putaran shoulder selanjutnya adanya penetrasi terhadap material dan gerak laju sehingga menghasilkan aliran plastis pada daerah yang terkena dari shoulder yang berputar. Panas yang di hasilkan juga bergantung pada sifat material serta variabel pengelasan termasuk kecepatan rotasi (rpm) dan geometri. Serta efek dari pemanasan dan pendinginan juga harus dipertimbangkan.

Rotasi Tool dan Kecepatan Melintang. Ada dua kecepatan alat yang harus diperhitungkan dalam pengelasan ini yaitu seberapa cepat *tool* itu berputar dan seberapa cepat *tool* itu melintasi jalur pengelasan (*joint line*). Gerakkan *tool* ditunjukkan pada Gambar 4. Kedua parameter ini harus ditentukan secara cermat untuk memastikan proses pengelasan yang efisien dan hasil yang

memuaskan. Hubungan antara kecepatan pengelasan dan masukan panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada *stir zone,* dan kemungkinan *tool* akan rusak. Tetapi masukan panas yang terlalu tinggi akan merugikan sifat akhir lasan karena perubahan karakteristik logam dasar material. Oleh sebab itu dalam menentukan parameter harus benar-benar cermat, masukan panas harus cukup tinggi tetapi tidak terlalu tinggi untuk menjamin plastisitas material serta untuk mencegah timbulnya sifat-sifat las yang merugikan.



Gambar 4. Arah pengelasan *friction stir welding*

Proses penyambungan terjadi dengan pelunakan *base metal* akibart input panas yang dihasilkan dari gesekan antara pin beserta *shoulder* dengan *base metal*. Panas ini bersama panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan panas adiabatik dalam material, menyebabkan material adukan untuk melunak tanpa mencapai titik lelehnya. Dengan kombinasi antara gerak rotasi dan gerak translasi *tool* menyebabkan material yang lunak tersebut berpindah dari sisi depan pin menuju sisi belakang pin dengan menerima tekanan tempa dari pin dan *shoulder*, sehingga terbentuklah sambungan las (*weld joint*).

Penampang makro dari daerah logam las pada pada *friction stir welding* dapat dibagi beberapa bagian seperti pada Gambar 5, yaitu :

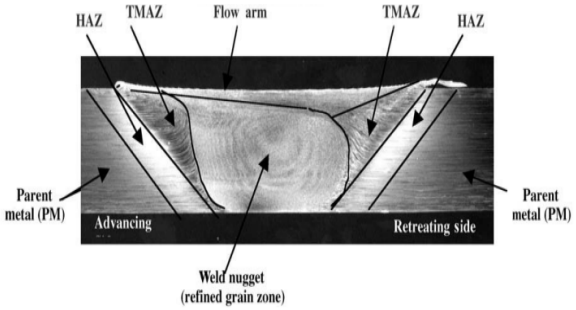
Base metal/Parent Metal merupakan bagian dari base metal yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.

***Heat Affected Zone* (HAZ)**, merupakan daerah yang paling dekat dengan lokasi pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus *thermal* yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari *basemetal*.

***Thermo Mechanically Affected Zone* (TMAZ)**, merupakan daerah yang terdeformasi plastis oleh *tool*, dan panas pada area ini dihasilkan pada proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi, dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.

Flow Arm Zone adalah area yang terseret adukan oleh *shoulder* yang menjadi batas pengelasan dari *friction stir welding.*

Weld Nugget/Weld Metal adalah area yang secara utuh mengalami rekristalisasi atau terkadang area ini disebut juga dengan *stir zone.* Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tools.*



Gambar 5. Penampang makro hasil *Friction Stir Welding*

Pada proses FSW ini parameter proses yang menentukan kualitas dari hasil lasan adalah sebagai berikut seperti pada Gambar 6:

***Rotational speed* (rpm)** adalah kecepatan putaran *probe* per menit. Kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan *strain rate* dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi. Putaran yang tinggi menghasilkan

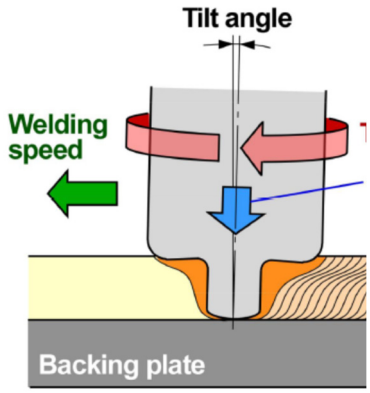
temperatur yang tinggi dan tingkat pendinginan yang lambat pada FSW.

***Welding speed* (mm/s)** memiliki peranan vital dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Dengan *welding speed* yang rendah akan menghasilkan sambungan dengan kuat tarik yang tinggi. Tetapi jika *welding speed* terlalu tinggi dari batas yang ditentukan maka akan timbul banyak cacat las.

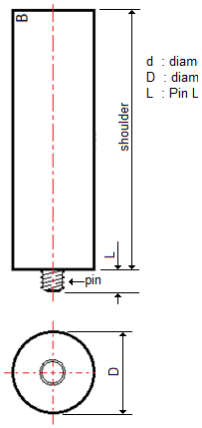
***Axial force* (KN),** Tekanan *tool* adalah gaya tekan tool ke dalam aluminium. Pada tugas akhir ini, gaya tekan ini digantikan dengan *shoulder depth plunge* (mm) karena pengukuran *axial force* sulit dilakukan dalam penelitian ini.

Tool geometry, seperti pada Gambar 7.

- D/d *ratio of tool*
- *Pin length* (mm)
- *Tool shoulder diameter,* D (mm)
- *Pin diameter,* d (mm)
- *Tool inclined angle* (*degrees*)



Gambar 6. Skema proses *friction stir welding*



Gambar 7. Geometri tool

Selain itu ada 3 fungsi dari *tool,* yaitu :

1. Memanaskan benda kerja dengan gesekan dan gaya yang diberikan.
2. Memindahkan material yang sudah semi cair ke lokasi baru untuk menghasilkan sambungan.
3. Sebagai penahan material panas yang berada di bawah *shoulder*.

Panas yang terjadi membuat material yang ada disekitar *probe* menjadi melunak dan akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool* material yang ada di depan *probe* bergerak kebelakang *probe* dan ini terjadi terus menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.

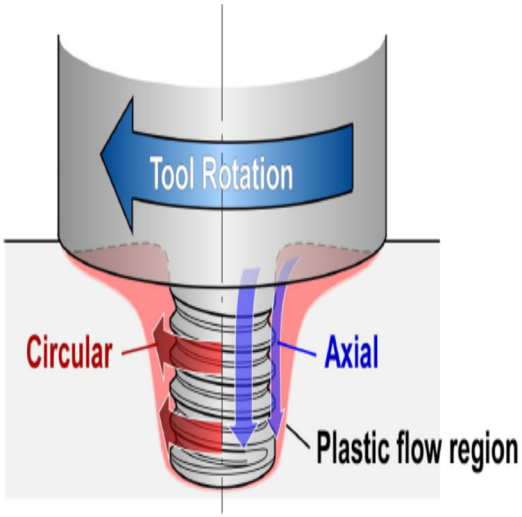
Pada saat proses FSW dilakukan, terdapat gaya-gaya yang bekerja pada *tool* seperti pada Gambar 8, yaitu :

Downward forces merupakan gaya yang diberikan mesin kepada *tool* yang lalu diteruskan ke benda kerja dan berfungsi untuk menjaga kontak antara *tool* dengan benda kerja sehingga tingkat penetrasi dan panas yang dihasilkan tetap terjaga selama proses berlangsung.

Traverse forces adalah gaya yang bekerja paralel dengan gerakan translasi dari *tool*, dan merupakan gaya positif yang dihasilkan akibat gerakan translasi dari *tool* itu sendiri.

Lateral forces adalah gaya yang bekerja tegak lurus dengan arah gerak translasi dari *tool*, hal ini timbul karena adanya kemiringan dari *tool*.

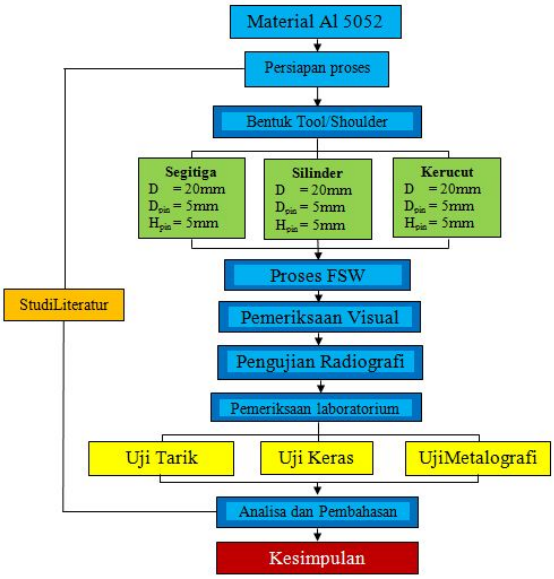
Torque adalah sejumlah gaya yang timbul akibat adanya gerak putar *tool* dan resistansi material pada saat proses FSW berlangsung.



Gambar 8. Arah putaran tool (*tool rotation*)

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian percobaan pengelasan dan pengujian yang diperlukan untuk menghasilkan data dan analisa yang urutan prosesnya seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema penelitian

Material yang digunakan pada proses pengelasan ini yaitu alumunium 5052 berupa pelat dengan ketebalan 6 mm, panjang 300 mm dan lebar 150 mm sebanyak 6 buah. Mesin yang digunakan pada pengelasan friction stir welding ialah mesin *freis* vertical. Parameter pengelasan friction stir welding yang digunakan yaitu :

Rotational speed *(rpm)* adalah kecepatan putaran probe per menit. kecepatan putaran yang tinggi dapat meningkatkan *strain rate* dan dapat mempengaruhi proses rekristalisasi. Putaran yang tinggi menghasilkan temperature yang tinggi. *Rotational speed (rpm)* yang digunakan pada proses ini sebesar 1500 rpm.

Welding speed*,* memiliki peranan penting dalam menghasilkan sambungan las yang baik. Kecepatan las merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas sambungan yang dihasilkan karena parameter kecepatan putaran berpengaruh terhadap input panas yang dihasilkan pada material bahan. *Welding speed* yang digunakan pada pengelasan ini sebesar 10 mm/menit

Axial force (tekanan tool) adalah gaya tekan tool ke dalam alumunium, pada proses pengelasan ini gaya tekan digantikan dengan *shoulder depth plunge* (mm) karena pengukuran *axial force* sulit dilakukan

Tool geometry *:* adalah design tool yang digunakan dalam proses pengelasan seperti pada Gambar 10 dan dimesin tool adalah sebagai berikut :

- Panjang Pin : 5 mm
- Diameter Pin : 5mm
- Diameter Tool shoulder : 20 mm
- *Ratio of tool :* $\frac{1}{4}$

Gambar 10. Bentuk Pin FSW

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang digunakan pada tool untuk proses *Friction Stir Welding* yaitu baja AISI H13. Baja AISI H13 merupakan salah satu baja perkakas pengerjaan panas yang paling sering digunakan. Baja ini memiliki kombinasi kekuatan, ketahanan aus, dan ketangguhan yang sangat baik serta titik cair yang tinggi.

Ditinjau dari sifat baja AISI H13, baja tipe ini cocok digunakan untuk tool *friction stir welding*. Bentuk dan ukuran material awal untuk tool seperti pada Gambar 10. Pada proses *Friction Stir Welding* ini menggunakan 3 bentuk *tool* dan ukuran yang sama, dan bentuk pin yang berbeda, dimana bentuknya adalah sebagai berikut :

- Pin tool 1 = Segitiga
- Pin tool 2 = Silinder (ulir)
- Pin tool 3 = Kerucut

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur paduan yang terkandung pada material aluminium, dari hasil pengujian komposisi kimia material aluminium didapatkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium 5052

Unsur	Komposisi kimia (% berat)	
	Pengujian	Standar
Cu	0.10	0.10
Mg	2.2	2.2-2.8
Si	0.25	0.25
Fe	0,40	0,40
Mn	0.10	0.10
Zn	0,10	Max 0,25
Ti	0,02	Max 0,15
Cr	0,035	0.15
Al	99.14	Sisa

Aluminium adalah golongan dari jenis logam *Non Ferrous* yang memiliki kelebihan tertentu dibandingkan logam lainnya yang dipergunakan dalam dunia industri, aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainya sebagai sifat logam, selain itu aluminium juga mempunyai sifat mampu bentuk (*Wrought alloy*) di mana paduan alumunium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas (dengan peleburan).

Karena sifat-sifat inilah maka banyak dilakuan penelitian untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya, diantaranya dengan menambahkan unsur-unsur seperti : Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, baik dicampur secara satu persatu maupun secara bersama-sama, bahan-bahan tersebut juga memberikan sifat-sifat baik lainya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, kontruksi dan sebagainya, aluminium terbagi dalam dua jenis yaitu alumunium cetak atau cor (*cast product*) dan aluminium tempa (*wrought product*).

Paduan Aluminium 5052 merupakan paduan aluminium, dengan magnesium sebagai elemen paduan utama. Hal ini digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi rasio berat, serta ketahanan lelah yang baik. Oleh karena itu pengelasan aluminium seri ini hanya melalui pengelasan gesekan, dan memiliki *machinability* rata-rata. Karena ketahanan korosi yang baik, tidak perlu adanya pelapisan dalam alumunium ini dan mempunyai kekuatan lelah yang tinggi (*high fatiqe strength*) dan mempunyai kemampuan pengerjaaan yang baik (*good work ability*).

Aplikasi aluminium 5052 biasa digunakan dalam pembuatan tabung hidrolik dan dalam bagian pesawat di gunakan untuk membuat tabung pesawat biasanya digunakan dalam pengerjaan lembaran logam (*sheet metal work*).

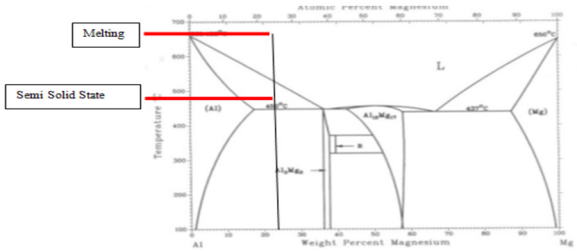
Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh Cu di dalam paduan aluminium. Magnesium larut sebagai fasa α, sedangkan diatas batas kelarutannya magnesium hadir dalam bentuk fasa β, fasa β merupakan fasa yang lunak dan berukuran besar, sehingga sedikit sekali menimbulkan efek pengerasan terhadap paduan.

Pengaruh penting dari elemen ini dalam paduan Al-Mg yaitu bersama dengan Si membentuk persenyawaan MgMn. Dengan adanya persenyawaan tersebut di dalam paduan Al-Mg maka sifat mekanis dapat ditingkatkan, karena kemungkinan mendapatkan pengaruh pengerasan akibat pengendapan, yaitu setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap paduan. Magnesium juga berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan korosi pada Al-Mg, tetapi sebaliknya unsur ini mengurangi sifat mampu tuang dari paduan dan mempunyai kecenderungan yang tinggi untuk teroksidasi pada waktu peleburan paduan tersebut.

Pengaruh Mg di dalam paduan Al-Mg mempunyai pengaruh yang hampir sama dengan pengaruh Cu di dalam paduan aluminium. Magnesium larut sebagai fasa α, sedangkan diatas batas kelarutannya magnesium hadir dalam bentuk fasa β, fasa β merupakan fasa yang lunak dan berukuran besar, sehingga sedikit sekali menimbulkan efek pengerasan terhadap paduan.

Pengaruh penting dari elemen ini dalam paduan Al-Mg yaitu bersama dengan Si membentuk persenyawaan MgMn. Dengan adanya persenyawaan tersebut di dalam paduan Al-Mg maka sifat mekanis dapat ditingkatkan, karena kemungkinan mendapatkan pengaruh pengerasan akibat pengendapan, yaitu setelah dilakukan proses perlakuan panas terhadap paduan. Magnesium juga berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan korosi pada Al-Mg, tetapi sebaliknya unsur ini mengurangi sifat mampu tuang dari paduan dan mempunyai kecenderungan yang tinggi untuk teroksidasi pada waktu peleburan paduan tersebut.

Terlihat pada Gambar 11, diagram fasa Al-Mg melting point (titik lebur) pada temperatur 660^{0}C dan kondisi pada saat proses atau dalam keadan semi solid state yaitu pada temperatur 484 ^{0}C sesuai dengan standar yang ditentukan.



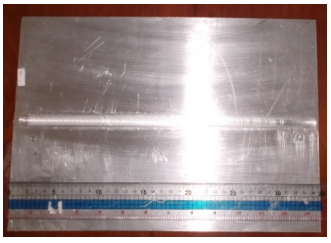
Gambar 11. Diagram fasa Al-Mg

Dari data yang diperoleh pada saat proses pengelasan, maka didapatkan parameter pengelasan sebagai berikut :

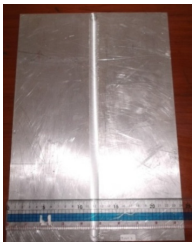
Tabel 2. Parameter proses pengelasan

Jenis Material	Sambungan	Bentuk pin	Panjang Lasan (mm)	Kecepatan Las (mm/min)	Kecepatan rotasi (Rpm)
Al 5052 T0	Butt joint	Kerucut ulir	350	10	1500
Al 5052 T0	Butt joint	Segitiga Ulir	350	10	1500
Al 5052 T0	Butt joint	Silinder Ulir	350	10	1500

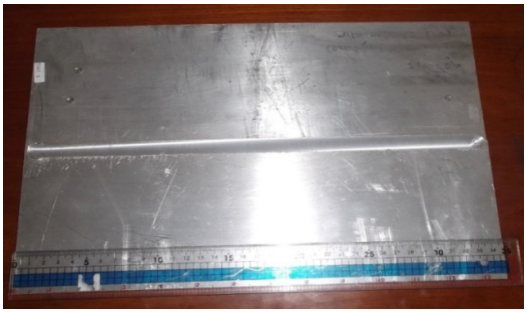
Hasil pemeriksaan *visual* pada pengelasan *Friction Stir Welding* dengan variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir, dan kerucut ulir dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini :



Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir

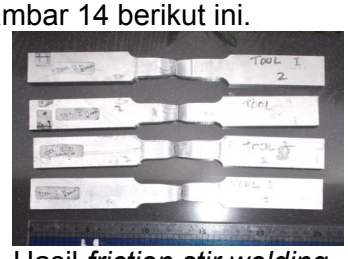
Gambar 12. Hasil proses pengelasan FSW

Hasil pemeriksaan Radiografi pada pengelasan *Friction Stir Welding* dengan variasi bentuk pin segitiga ulir, silinder ulir, dan kerucut ulir dapat memenuhi persyaratan uji radiografi sesuai dengan standar AWS D.17.3. *Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware.*

Setelah spesimen hasil lasan telah lulus uji visual dan radiografi dilakukan pengujian sifat mekanik, struktur makro dan struktur mikro yang hasil ujinya sebagai berikut :

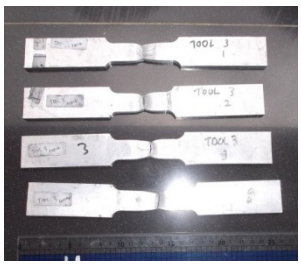
Hasil pengujian tarik seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut ini.

Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir

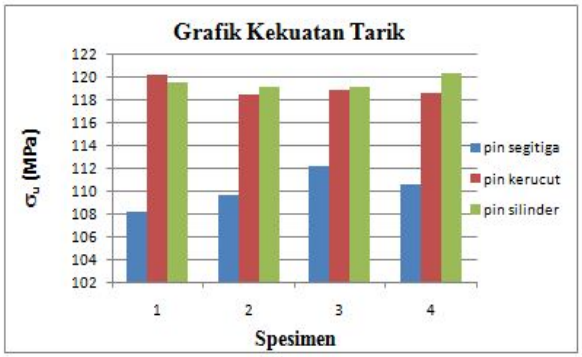


Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir

Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir



Gambar 13. Spesimen hasil pengujian tarik



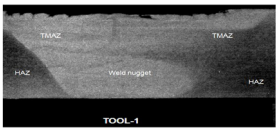
Gambar 14. Grafik hasil pengujian tarik

Dari data-data yang diperoleh pada hasil pengujian tarik yang dilakukan pada hasil lasan dengan pin segitiga, silinder dan kerucut seperti pada Gambar 14 terlihat bahwa hasil pengujian tarik putusnya di daerah *weld metal* yang tepatnya di daerah adukan yang dilakukan oleh pin. Hal ini terjadi karena sifat aluminium yang menurun kekuatannya akibat panas dari proses pengelasan.

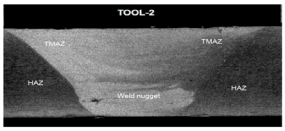
Setelah proses FSW telah selesai dilakukan sesuai dengan prosedur maka tahap selanjutnya adalah pemeriksaan hasil pengelasan variasi bentuk pin yang telah dilakukan dengan menggunakan kecepatan gerak 10 (mm/menit) dan kecepatan putar 1500 rpm. Pada pemeriksaan ini pada bagian *face* pada semua variasi terlihat adanya efek gesekan dari *shoulder* pada material hal ini yang menjadi salah satu ciri dari proses pengelasan dengan metoda *friction stir welding* selanjutnya pada bagian *root* tertutup secara penuh menyatu dengan *base metal* hal ini menunjukan bahwa antara *root* dan *face* sudah *fusi*.

Dari grafik hasil uji tarik seperti pada Gambar 14 dapat terlihat bahwa kekuatan tarik maksimal yang didapat dari penelitian proses pengelasan *friction stir welding* dengan bentuk pin silinder sebesar 120.442 Mpa. Hal ini dipengaruhi oleh efek penetrasi pin pada material sehingga proses pengadukannya lebih merata, jika dibandingkan dengan hasil pengujian tarik bahan dasar Al 5052 nilai kekuatan tariknya sebesar 299.978 Mpa. Pada penelitian ini terjadi penurunan sifat mekanik pada hasil lasan dikarenakan perubahan sifat material. Karena pada daerah lasan/*weld metal* terjadi perubahan bentuk struktur mikro terlihat pada Gambar 15 yang disebabkan oleh pengaruh heat treatment yang terjadi pada saat proses dan efek adukan yang dilakukan oleh pin di shoulder dan perbandingan antara pin silinder ulir dan kerucut ulir tidak terlalu siginifikan jauh nya berbeda dengan pin segitiga ulir dikarenakan luas permukaan pin silinder ulir dan kerucut ulir lebih besar daripada pin kerucut ulir.

Struktur Makro dan Mikro

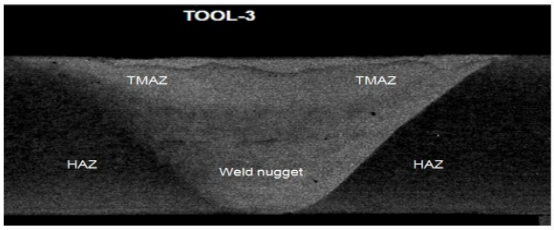


Hasil *friction stir welding* bentuk pin segitiga ulir



Hasil *friction stir welding* bentuk pin silinder ulir

Hasil *friction stir welding* bentuk pin kerucut ulir



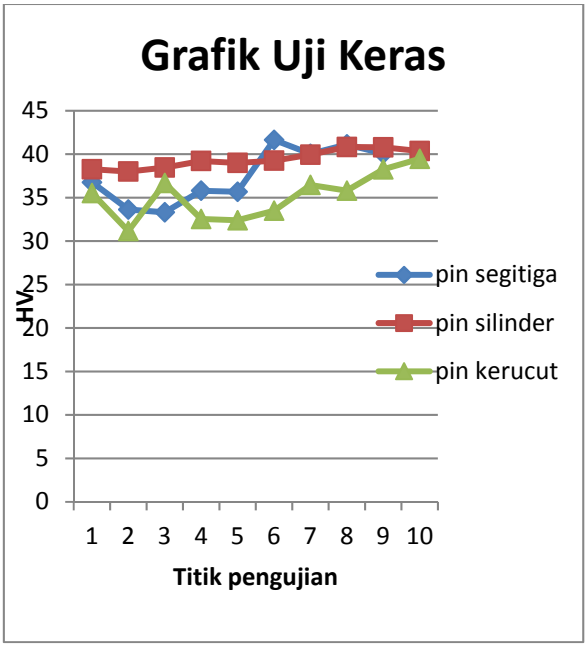
Gambar 15. Struktur makro logam las

Dari Gambar 15. hasil struktur makro di atas dapat dijelaskan sebagai berikut: Daerah las (*weld nugget*) daerah yang mengalami *deformasi plastis* dan pemanasan selama proses FSW sehingga menghasilkan *rekristalisasi* yang menghasilkan butiran halus di daerah pengadukan. *Nugget* bentuknya bergantung pada parameter proses, pada daerah weld metal temperatur melting point Al 5052 X 80% yaitu 660 ^{0}C X 80% adalah 528 ^{0}C.

Thermomechanically affected zone (*TMAZ*) adalah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami *deformasi* struktur tetapi tidak terjadi *rekristalisasi*. *Heat affected zone* (*HAZ*) adalah daerah yang mengalami *siklus termal* tetapi tidak mengalami *deformasi plastis* dan perubahan sifat mekanik. Pada penelitian ini daerah *HAZ* tidak terjadi perubahan struktur mikro yang signifikan karena temperatur yang rendah di anggap tidak ada perubahan struktur mikro pada daerah *HAZ,* pada daerah HAZ temperaturnya di bawah 528 ^{0}C. *Base metal* (*BM*) atau logam induk merupakan daerah yang tidak terpengaruh terhadap *siklus termal* atau pengaruh panas selama proses *friction stir welding* berlangsung.

Titik cair Al 5052 660 ^{0}C sedangkan temperatur *semi solid state* atau pada proses pengelasan daerah *weld metal* 520 ^{0}C sedangkan pada penelitian *friction stir welding* kemungkinan temperatur 400 ^{0}C dengan menggunakan alat *thermocouple*, oleh karena itu pada daerah *HAZ* kecil sekali perubahan fasa yang terjadi atau di anggap tidak ada perubahan pada daerah *HAZ.*

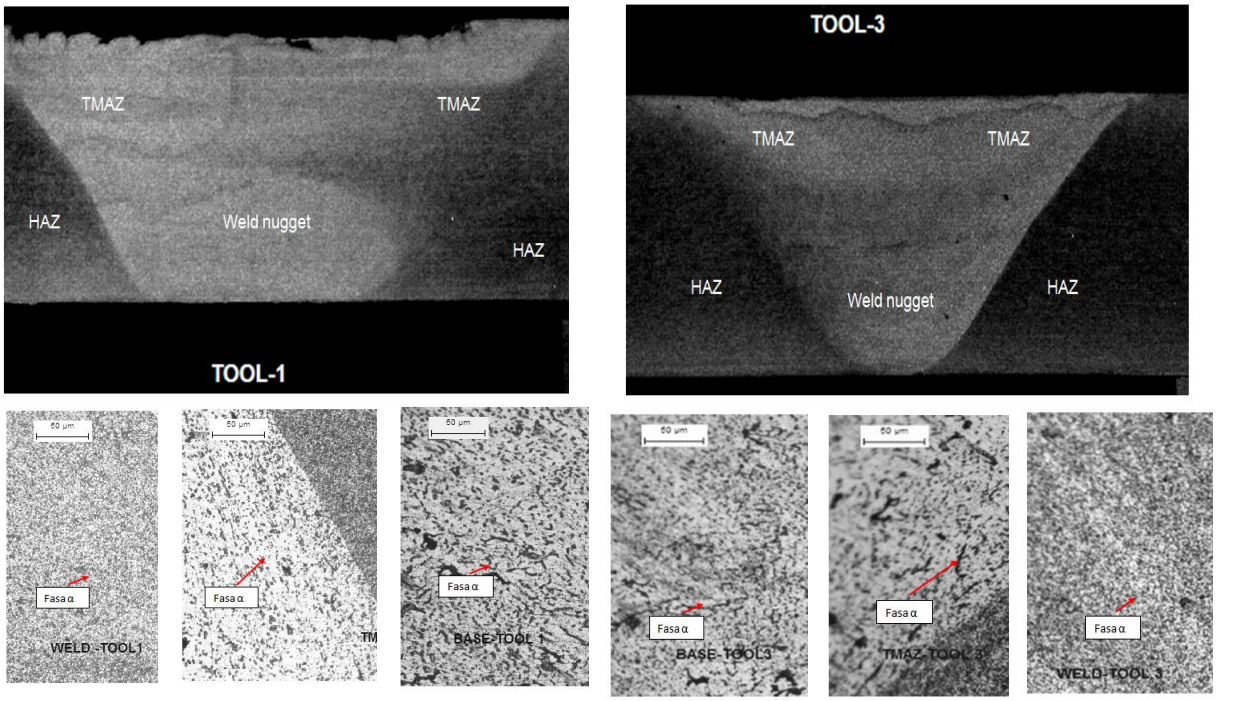
Nilai kekerasan yang dihasilkan dari hasil pengelasan dengan bentuk pin silinder lebih besar jika dibandingkan dengan hasil lasan bentuk pin kerucut dan segitiga dimana nilai kekerasan pada daerah pada daerah weld metal dengan bentuk pin silinder sebesar 38.13 HV dan daerah lasan dengan bentuk pin segitiga dan kerucut rata-rata sebesar 34.56 dan 33.97. Terlihat bahwa bentuk berpengaruh terhadap nilai kekerasan hasil lasan, terlihat pada Gambar 16 kurva perbandingan uji keras terlihat pada pin segitiga ulir pada titik 1-4 perubahan nilai kekuatan kekerasan pada daerah *base metal* terlalu jauh di karena pada saat proses pengujian indentor yang digunakan salah atau pengujian kekerasan tidak sesuai dengan prosedur yang dianjurkan.



Gambar 16. Hasil Uji Kekerasan Logam Las

Struktur mikro

Pada pemeriksaan mikro dilakukan pada daerah *Weld, Tmaz* dan *Base metal*. Spesimen di etsa menggunakan cairan kimia *keller's regent*. Pada *base metal* dimensi dan bentuk butir orientasinya masih sama dengan hasil *cold working* atau proses pembentukan awal, dapat dilihat bentuk butir yang tampak pada daerah *base metal* berbentuk pipih dan panjang searah dengan arah *roll*. Pada proses *friction stir welding* daerah *HAZ* tidak terlihat atau tidak ada karena terlihat pada daerah struktur mikro daerah *HAZ* dan base metal tidak terjadi perubahan. Daerah *TMAZ* daerah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami *deformasi* struktur tetapi tidak terjadi *rekristalisasi*. Daerah *weld* adalah daerah yang mengalami *deformasi plastis* dan pemanasan selama proses *friction stir welding* sehingga menghasilkan *rekristalisasi* yang merubah butir menjadi halus seperti terlihat pada Gambar 17, 18 dan 19 hasil struktur mikro logam las.

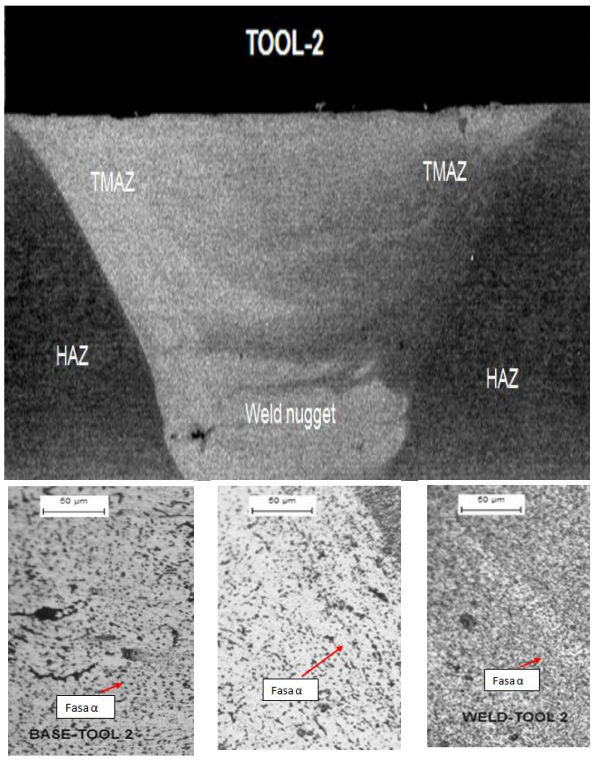


Base Metal TMAZ Weld Nugget

Gambar 17. Struktur mikro hasil lasan pin segitiga ulir

Base Metal TMAZ Weld Nugget

Gambar 19. Struktur mikro hasil lasan pin kerucut ulir



Base Metal TMAZ Weld Nugget

Gambar 18. Struktur mikro hasil lasan pin silinder ulir

KESIMPULAN

Dari hasil pengelasan metoda *friction stir welding* dengan variasi bentuk pin dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut :

Metode *friction stir welding* dapat digunakan untuk menyambung material Alumunium 5052 – T0.

Hasil kekuatan tarik maksimum didapat pada bentuk pin silinder ulir dengan kekuatan tarik maksimum sebesar 120,442 MPa dan hasil uji kekerasan maksimum pada logam las sebesar 39,22 HV berbanding lurus dengan kekuatan tariknya.

Sifat mekanik hasil lasan dari ketiga jenis pin sedikit berbeda baik hasil uji tarik maupun hasil uji kekerasan hal ini disebabkan perbedaan luas permukaan ketiga pin tersebut (luas permukaan pin silinder ulir dan kerucut ulir lebih besar daripada segitiga ulir), sehingga menghasilkan luas daerah logam las yang sedikit berbeda sehingga mempengaruhi struktur dan kekuatan daerah logam las.

Hasil struktur mikro tool 2 (pin silinder ulir) menghasilkan struktur butir yang lebih halus dibandingkan dengan tool 1 dan tool 3.

SARAN

Pastikan kerapatan sambungan material yang akan disambung, karena akan mempengaruhi penetrasi dan kualitas hasil lasan.

Untuk memastikan panas pada daerah *weld metal* dilakukan pengukuran temperatur pada daerah weld metal agar temperatur yang bekerja dapat diketahui secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Adit, 2012, "pengaruh bentuk pin ulir soulder pada pengelasan silimar Al 2024 T3 dengan metode *friction stir welding*, Teknik Metalurgi Unjani", hal 20.

Deni, 2014, "analisa sifat mekanik dan struktur mikro sambungan pada alumunium seri 2024 T3 menggunakan friction stir welding dengan variasi kecepatan gerak, Teknik Metalurgi unjani, hal 35.

Odi, 2014, "perencanaan pembuatan tool untuk proses friction stir welding pada material alumunium , Teknik Metalurgi Unjani, hal 45.

Andri, 2012, "pengaruh kecepatan rotasi (rpm) shoulder pada pengelasan silimar Al 2024 T3 dengan metode *friction stir welding*, Teknik Metalurgi Unjani, hal 22.

Therry Khaled,PH.D An outsider look at friction stir welding report, hal 56.

R.Zettler,J.F dos santos,T donath, F beckham, Tlippmann, D lohwasser and A.scheyer, Valdation of maker material flow in 4mm thick friction stir welded Al-2024 T-351 as reported by computed micromography using standard metallographic techniques, hal 45.

R.Rai,A.De,H.K..D.H.Bhadesihia and T.Debroy review friction stir welding tools.

P L Threadgill and P J Withers, Friction stir welding of aluminium alloys. TWI, Granta Park, Great Abington CB21 6AL, UK, School of Materials, University of Manchester, Grosvenor Street, Manchester M1, UK hal 87.

The approval friction stir welding in aluminium, American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature ofthe State of New York 1862 hal 92.

Aluminium Now 1(2003)1. Jan/Feb. *Ford Suspension Link the First Auto Part to be Friction Stir Welded. In: www.aluminum.org*

Tecknical Handbook Friction welding stir, ESAB hal 56.

ASME, Friction Stir Welding (FSW) added as an acceptable welding process for VIII-1 construction. Hal 76.

Principal Type of Standard Alloy Steels (Smith,1996) by Computed Microtomography using Standard Metallographic Techniques hal 45

Specification for Friction Stir Welding of Aluminum Alloys for Aerospace Hardware, AWS D17.3/D17.3M:200X An American National Standard, hal 32.

The approval pf friction stir welding in aluminium, American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York 1862, hal 44.

Aluminium Now 1(2003)1. Jan/Feb. *Ford Suspension Link the First Auto Part to be Friction Stir Welded. In: www.aluminum.org.*

ASME, Friction Stir Welding (FSW) added as an acceptable welding process for VIII-1 construction. Hal 76.

ASME, Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)1998 Edition, Section 5, Article 6, Subparagraph T-653.2 W. M. Thomas, E. D. Nicholas, J. C. Needham, M. G. Murch, P. Templesmith and C. J. Dawes: 'Friction stir butt welding', US Patent 5460317, 1995. Hal 92

C. J. Dawes and W. M. Thomas: 'Friction stir process welds aluminum alloys', Weld. J., 1996, 75, (3),hal 41–45.

E. D. Nicholas and W. M. Thomas: 'A review of friction processes for aerospace applications', Int. J. Mater. Prod. Technol., 1998, 13, (1–2),hal 45–55.

W. M. Thomas, P. L. Threadgill and E. D. Nicholas: 'Feasibility of friction stir welding steel', Sci. Technol. Weld. Join., 1999, 4, (6),365–372.hal 129

W. M. Thomas: ‘Friction stir welding – recent developments’, Mater. Sci. Forum, 2003, 426–432, 229–236.hal 67

Microstructural Development in Friction Stir WeldingR.W. Fonda,1 hal 78.

Validation of Marker Material Flow in 4mm Thick Friction Stir Welded Al 2024-T351 as reported by Computed Microtomography using Standard Metallographic Techniques hal 89.

ASM Handbook, 1993, Vol 7, Al 2024 T3,” pp. 246.4 hal 111

ASTM International, E8/E8M-13a Standard Test Methods Tension hal 132.

ASTM International E384, Westmoreland Mechanical Testing & Research, Inc. hal 32.

Kurokawa.hideaki, 2012, ”friction stir welding fundamental”, Kawasaki heavy industry.

Kurokawa.hideaki, 2012, ”friction stir welding aplication”, Kawasaki heavy industry.

Krauss, G., 1995, Principles of Heat Treatment of Steel, American Society for Metals, Ohio, USA hal 88

Steel metalindo, Standard AISI h-13 tool steel, jawa barat.

Steel metalindo, Standard alumuniun 5052, jawa barat.