

ANALISIS *SURFACE DEFECT* MENGGUNAKAN IMAGEJ PADA PRODUK HASIL PROSES *ROLL BENDING* PIPA KOTAK

¹Sufiyanto Sufiyanto, ²David Ross, ³Djoko Andrijono, ⁴Rudy Hariyanto

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

¹sufiyanto@unmer.ac.id, ²dross8930@gmail.com, ³djoko.andrijono@unmer.ac.id, ⁴rudi.hariyanto@unmer.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima : 17 Desember 2021

Direvisi : 07 Januari 2022

Disetujui : 07 Januari 2022

Kata Kunci :

Proses *Roll Bending*, Pipa Kotak, *Surface Defect*, ImageJ

ABSTRAK

Produk pipa lengkung merupakan produk yang dibuat melalui proses *roll bending*. Deformasi dalam bentuk kelengkungan tersebut dihasilkan oleh gaya *bending* yang diberikan pada material pipa. Karakteristik sifat mampu bentuk pada proses *bending* ditentukan oleh kemampuan deformasi plastis yang terjadi dan kekuatan material. Pada saat gaya *bending* yang diberikan melebihi batas kemampuan material maka terjadi kegagalan produk dimana salah satunya adalah *surface defect* pada proses *roll bending* pipa kotak. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur seberapa besar luasan *surface defect* yang terjadi pada proses *roll bending* pipa kotak. Metode yang digunakan adalah menghitung luasan *surface defect* dengan aplikasi ImageJ. Tahapan yang dilakukan adalah *setting* skala, penentuan batas *area surface defect*, dan pengukuran luasan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa aplikasi ImageJ dapat digunakan sebagai metode untuk pengukuran luasan *surface defect* yang terjadi pada proses *roll bending* pipa kotak.

I. PENDAHULUAN

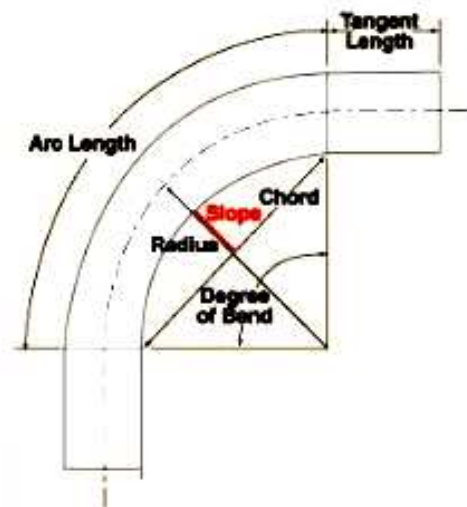
Proses *bending* termasuk salah satu proses pembentukan logam yang digunakan untuk mengubah bentuk material logam. Bentuk umum yang dihasilkan pada proses *bending* adalah bentuk lengkung dengan suatu radius kelengkungan tertentu. Proses *bending* umumnya dilakukan dengan proses pengerjaan dingin, tetapi pada kasus-kasus khusus dengan bentuk kelengkungan dan material tertentu harus dilakukan dengan proses pengerjaan panas. Beberapa bentuk material dalam pengerjaan proses *bending* antara lain: plat, pipa, batang dan profil.

Beberapa jenis proses *bending* dibedakan menurut teknis pembentukan yang dilakukan untuk mengubah bentuk material tersebut. Setiap jenis proses *bending* tersebut memiliki mekanisme proses dan komponen yang berbeda satu dengan lainnya. Berikut jenis proses *bending* yang umum dilakukan, antara lain [1]:

- Roll bending*
- Rotary draw bending*
- Compression bending*
- Induction bending*

Untuk menghasilkan bentuk lengkung dengan radius kelengkungan tertentu, diperlukan suatu parameter dasar yang secara umum digunakan dalam proses *bending*. Parameter dasar ini penting untuk merencanakan tahapan dalam proses *bending* sehingga radius kelengkungan benda kerja yang dihasilkan sesuai. Beberapa parameter dasar yang digunakan dalam proses *bending*, yang tampak pada Gambar 1, antara lain:

- Radius *bending*
- Derajat *bending*
- Kelengkungan *bending section*
- Panjang busur
- Kemiringan *bending section*



Gambar 1 Parameter dasar proses *bending* [1]

Selain parameter dasar proses *bending*, terdapat beberapa faktor yang terkait dengan material atau benda kerja yang dibentuk pada proses *bending*. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi tingkat kesulitan atau keberhasilan proses *bending* yang dilakukan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pembentukan material dalam proses *bending*, antara lain:

- Ketebalan benda kerja
Material yang dibentuk pada proses *bending* mengalami penarikan (*stretching*) pada sisi luar (*extrados*) dan pengerutan (*compressing*) pada sisi dalam (*intrados*) sesuai radius kelengkungan yang terjadi. Ketebalan benda kerja berpengaruh terhadap ketercapaian radius kelengkungan yang dapat dibentuk dan kemampuan material tersebut untuk mengalami peregangan (*stretchability*) tanpa terjadi kegagalan atau distorsi.
- Ukuran atau bentuk penampang benda kerja
Material dengan ukuran atau bentuk penampang yang besar dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya distorsi atau kegagalan proses pada saat dibentuk dengan

ANALISIS *SURFACE DEFECT* MENGGUNAKAN IMAGEJ PADA PRODUK HASIL PROSES *ROLL BENDING* PIPA KOTAK

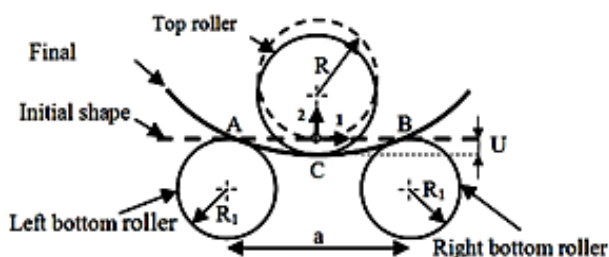
radius kelengkungan yang kecil. Selain itu, untuk bentuk penampang kotak atau persegi terdapat rasio antara panjang dan lebar penampang tersebut yang juga berpengaruh terhadap proses *bending*.

3. Jenis material

Proses pembentukan material sangat dipengaruhi oleh jenis material yang dibentuk. Material dengan kekuatan yang besar semakin sulit untuk dibentuk. Kekuatan material berpengaruh terhadap gaya yang dibutuhkan pada proses pembentukan yang diberikan pada material dibentuk.

Pada proses *roll bending*, deformasi pada material diperlukan untuk membentuk kelengkungan sesuai radius yang direncanakan. Deformasi dalam bentuk kelengkungan tersebut dihasilkan oleh gaya bending yang diberikan pada material (Gambar 2). Jika deformasi yang terjadi melebihi kemampuan material maka terjadi cacat atau kegagalan produk. Kemampuan material untuk dibentuk pada proses *roll bending* ditentukan oleh ketebalan plat, ukuran atau bentuk penampang, dan jenis material. Beberapa jenis kegagalan atau cacat produk yang mungkin terjadi pada suatu proses *roll bending*, yang tampak pada Gambar 2, antara lain [2]:

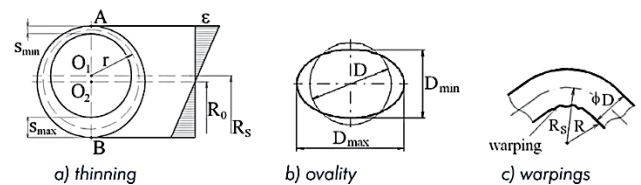
- a. Distorsi penampang pipa, yaitu perubahan bentuk penampang pipa bulat menjadi bentuk oval akibat gerakan kedua sisi dinding pipa ke arah samping pada bidang sumbu netral.
- b. *Wrinkling*, yaitu kerutan yang terjadi pada dinding pipa sisi dalam (*intrados*) akibat tegangan tekan yang melebihi kemampuan deformasi material.
- c. Perubahan ketebalan dinding pipa, dimana pada dinding pipa sisi dalam (*intrados*) terjadi penebalan sedangkan pada sisi luar (*extrados*) terjadi penipisan.
- d. *Springback*, yaitu kecenderungan material untuk kembali ke bentuk semula pada saat gaya pembentukan yang bekerja dihilangkan. Sifat elastis material pipa sangat berpengaruh terhadap terjadinya efek *springback*.
- e. Patah atau sobek, dimana pada dinding pipa sisi luar (*extrados*) terjadi tegangan tarik yang melebihi kekuatan luluh material. Apabila penipisan tebal dinding pipa sisi luar melebihi kemampuan deformasi material, maka dapat terjadi dinding pipa sobek atau patah.



Gambar 2 Mekanisme proses *roll bending* [3]

Kualitas produk hasil proses bending sangat tergantung pada karakteristik material, geometri komponen, dan metode *bending* [4]. Ketiga faktor tersebut membuat suatu interaksi dimana ketidakseimbangan antar faktor tersebut

dapat mempengaruhi peningkatan kecenderungan terjadinya kegagalan produk. Karakteristik sifat mampu bentuk pada proses *bending* ditentukan oleh kemampuan deformasi plastis dan kekuatan material. Material yang *ductile* sangat sesuai untuk proses *bending* dengan radius kelengkungan yang tajam karena material yang *ductile* mampu mengalami *elongation* yang besar tanpa terjadi retak. Geometri komponen berkaitan dengan radius *bending*, dimana radius *bending* yang tajam mengakibatkan regangan tarik yang besar pada dinding pipa sisi luar. Sedangkan pada dinding pipa sisi dalam terjadi regangan tekan yang besar sehingga berpotensi terjadi *warping*.



Gambar 3 Bentuk kegagalan produk pada proses *roll bending* [4]

Salah satu ukuran kualitas *curved product* adalah *surface quality* yang berhubungan dengan kehadiran dan besarnya guratan (*scratches*), retak, deformasi yang berlebihan, serta *wrinkling*. Kondisi *wrinkling* adalah terjadinya *buckling* pada bagian plat sisi dalam yang terkompresi, tampak pada Gambar 4. Radius *bending* kritis merupakan fungsi kerampingan plat [5]. Peningkatan kerampingan plat meningkatkan radius *bending* kritis.



Gambar 4 *Wrinkling* yang terjadi pada proses *roll bending* [5]

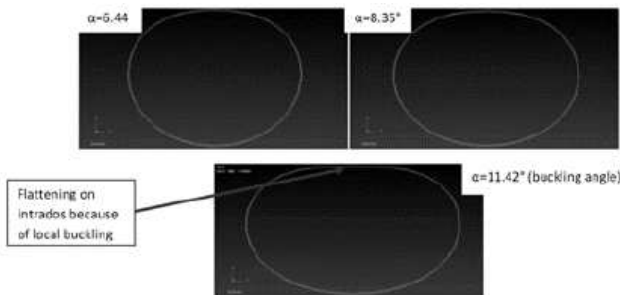
Beberapa penelitian terkait mekanisme terjadinya *wrinkling* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya [6][7]. Faktor kecepatan aliran material yang tidak selaras dengan kecepatan proses merupakan penyebab terjadinya *thinning*

dan *wrinkling* [8]. Sedangkan control kecepatan *bending* dapat mengurangi terjadinya *thinning* dan *wrinkling* [9].

Pengamatan fenomena pada proses *3 roll bending*, tampak pada Gambar 5, menemukan faktor yang mempengaruhi kualitas hasil *bending* [10]. Fenomena yang terjadi berhubungan dengan mekanisme ovalisasi, *buckling* atau tekuk, dan *springback*. Hasil pengamatan tersebut bisa menjadi rujukan dalam meningkatkan proses *3 roll bending* pada pipa. Berikut hasil pengamatan yang diperoleh:

- Bentuk oval dipengaruhi oleh ketebalan pipa
- Derajat oval berkurang dengan peningkatan radius *bending*
- Peningkatan ovalisasi menyebabkan ketidakstabilan yang berakibat pada *buckling* atau tekuk
- Ketebalan bertambah pada bagian *intrados*, sedangkan bagian *ekstrados* menipis.
- *Springback* bertambah sebanding dengan sudut *bending* dan berkurang dengan bertambahnya ketebalan

Kontrol *ovality* dapat dilakukan dengan meningkatkan ketebalan pipa dan menggeser sumbu netral ke sisi tarikan untuk menghindari terjadinya *ovality* [11].

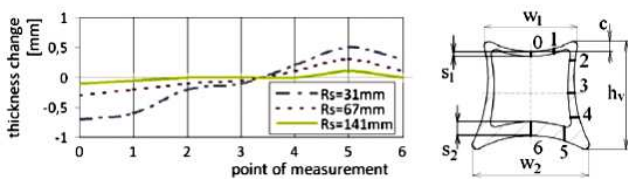


Gambar 5 Mekanisme ovalisasi pada bagian penampang yang mendorong terjadinya *local buckling* [10]

Distorsi penampang pada proses *rotary draw bending* dipengaruhi oleh rasio R/h [4]. Bentuk distorsi penampang pada pipa kotak dapat dilihat pada Gambar 6. Selanjutnya, distorsi penampang tersebut berakibat pada perubahan ketebalan dinding pipa dimana pada titik 0 s/d 3 terjadi penipisan dinding pipa. Pada titik 4 s/d 6 dinding pipa mengalami penebalan (Gambar 7).



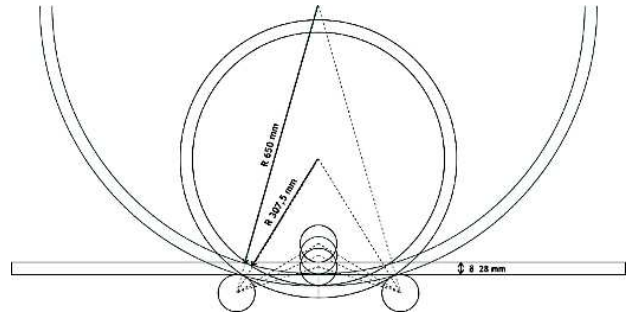
Gambar 6 Distorsi penampang pada *rotary draw bending* [4]



Gambar 7 Perubahan ketebalan dinding pipa [4]

Proses *3 roll bending* yang digunakan untuk membentuk *curved product* pipa sesuai dengan radius kelengkungan yang diinginkan. Pada proses pembentukan ini diperlukan beberapa tahapan proses bending sampai menghasilkan *curved product* pipa tersebut [12]. Jumlah

tahapan proses ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: defleksi awal yang diberikan untuk membentuk radius kelengkungan, ukuran dan ketebalan pipa, material pipa, dan *springback* yang tergantung pada faktor kekakuan pipa. Defleksi awal yang diberikan harus mempertimbangkan kemampuan material untuk mengalami deformasi akibat gaya *bending* yang bekerja (Gambar 8). Semakin besar defleksi awal yang diberikan maka gaya *bending* yang bekerja semakin meningkat. Pada Gambar 9 ditunjukkan hasil *curved product* pada proses *3 roll bending* pipa kotak. Setiap tahapan proses *bending* menghasilkan radius kelengkungan yang berbeda.



Gambar 8. Hubungan defleksi dan radius kelengkungan pada proses *3 roll bending* [12]



Gambar 9 Hasil *curved product* pada proses *3 roll bending* [13]

Penggunaan aplikasi ImageJ di bidang teknik telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Analisis beberapa parameter dasar pada struktur seperti kebulatan, sudut ferrit, kepadatan dan perimeter, luas rata-rata dan prosentase luasan telah diperoleh hasil yang akurat menggunakan aplikasi ImageJ [14]. Analisis distribusi ukuran dan bentuk partikel pada bidang teknis yang menangani bahan granular atau partikulat termasuk pengurangan ukuran juga telah dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ [15].

Penelitian ini mengamati terjadinya *surface defect* pada hasil *curved product* proses *3 roll bending* pipa kotak, tampak pada Gambar 9. Defleksi awal yang diberikan dapat berpotensi menyebabkan *surface defect* pada proses *3 roll bending* berlangsung. *Surface defect* yang diamati terjadi pada bagian akhir atau ujung pipa kotak dimana proses *3 roll bending* berhenti. Pada bagian akhir atau ujung pipa merupakan bagian yang menumpu kontak antara *roll dies* penekan dan *roll dies* penggerak (Gambar 10).

ANALISIS *SURFACE DEFECT* MENGGUNAKAN IMAGEJ PADA PRODUK HASIL PROSES *ROLL BENDING* PIPA KOTAK

Surface defect yang terjadi merupakan bentuk kegagalan pada proses 3 *roll bending* pipa kotak. Bagian permukaan pipa kotak dimana terjadi *surface defect* adalah sisi samping pipa seperti ditunjukkan pada Gambar 11 berikut. Tujuan dari penelitian ini adalah pengukuran luasan area *surface defect* dengan menggunakan aplikasi ImageJ.



Gambar 10 Posisi tumpuan pada bagian ujung pipa



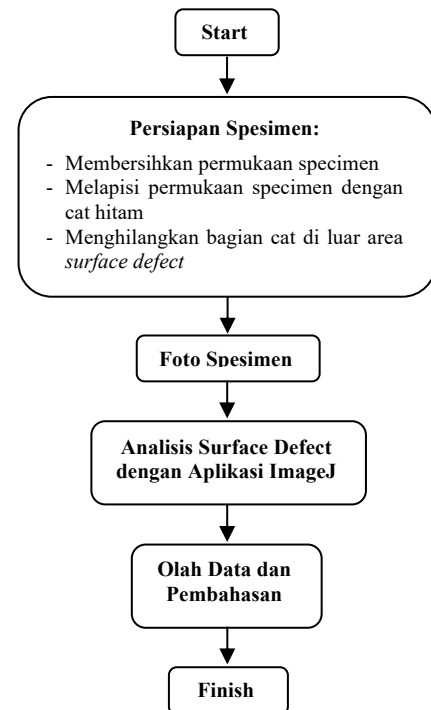
Gambar 11 Bentuk *surface defect*

II. METODE PENELITIAN

Analisis *surface defect* yang terjadi pada *curved product* pipa kotak hasil proses 3 *roll bending* menggunakan aplikasi ImageJ. ImageJ adalah sebuah aplikasi berbasis java yang berfungsi untuk *quantitative image analysis tool* yang dapat menunjang metode pengukuran di dunia riset. Aplikasi ini digunakan untuk menganalisis obyek berupa gambar. ImageJ merupakan salah satu aplikasi yang dapat menampilkan, menganalisis, mengedit, memproses, menyimpan serta mencetak gambar yang memiliki ukuran 8-bit, 16-bit dan 32-bit. Format yang dapat didukung oleh ImageJ seperti Jpeg, Tiff, Gif, Bmp, Fits, Dicom, dan juga 'raw'.

Data yang diperlukan dalam analisis *surface defect* adalah foto obyek gambar specimen hasil proses 3 *roll bending*. Beberapa tahapan persiapan harus dilakukan

sebelum foto tersebut diambil agar proses identifikasi area *surface defect* yang diukur tampak jelas. Teknis penggunaan aplikasi ImageJ untuk melakukan analisis *surface defect* dapat dilihat pada diagram alir Gambar 12.



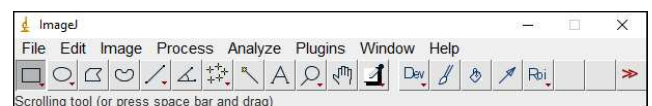
Gambar 12 Diagram alir analisis *surface defect*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan aplikasi ImageJ secara teknis untuk mencari atau mengidentifikasi luasan suatu obyek gambar bisa dilakukan dengan beberapa cara. Dalam penelitian ini, identifikasi obyek dilakukan dengan 2 (dua) cara sederhana yaitu menggunakan *selection brush tool* dan *wand (tracing) tool*. Secara teknis, kedua cara tersebut digunakan untuk memilih area *surface defect* yang telah diidentifikasi dan selanjutnya dilakukan pengukuran pada area tersebut. Tahapan yang dilakukan pada metode *selection brush tool* dan *wand (tracing) tool* dapat dijelaskan pada uraian dibawah ini.

a. Tahapan Penggunaan Aplikasi ImageJ dengan Metode Selection Brush Tool

Installer aplikasi ImageJ dapat diunduh melalui laman <https://imagej.nih.gov/ij/>. Setelah men-download dan menginstall aplikasi ImageJ, maka tampilan menu utamanya seperti pada Gambar 13.

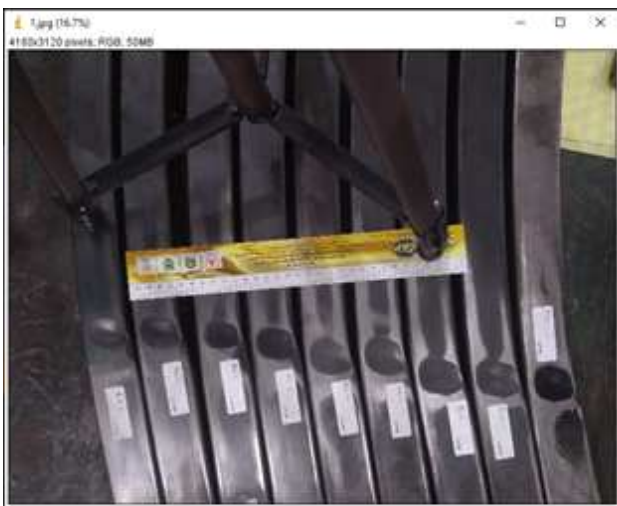


Gambar 13 Menu utama ImageJ

Selanjutnya membuka file gambar atau foto yang dianalisa luasan permukaan suatu obyek yang ada pada

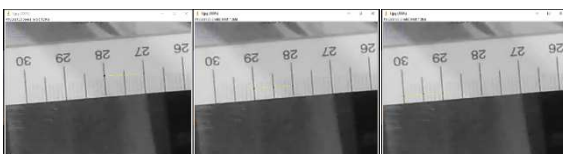
gambar atau foto tersebut. Berikut foto *surface defect* yang terjadi pada pipa setelah melalui proses *roll bending* (Gambar 14).

Dalam menentukan ukuran luasan suatu obyek, hal terpenting yang harus dilakukan adalah pengaturan skala pada gambar atau foto. Sebagai acuan dasar, pada gambar atau foto harus disertakan skala ukuran yang sesuai dengan ukuran obyek. Langkah pengaturan skala dilakukan dengan cara membuat obyek garis dengan panjang sesuai skala ukuran yang diketahui. Pengaturan skala ini diperlukan karena *default* satuan ukuran pada gambar atau foto adalah *pixel*. Setelah membuat obyek garis tersebut, proses dilanjutkan dengan *analyze* → *measure*. Fitur *measure* digunakan untuk menghitung panjang obyek garis yang telah dibuat. Pembuatan obyek garis sebaiknya dilakukan beberapa kali agar diperoleh nilai rata-rata dan hasil skala yang lebih akurat (Gambar 15).



Gambar 14 *Surface defect* pada proses *roll bending*

Nilai rata-rata dari data ukuran panjang ketiga obyek garis dapat dicari dengan cara klik *result* → *summarize* (Gambar 16). Selanjutnya diperoleh hasil rata-rata ukuran panjang sebesar 74,064 *pixel*, dimana nilai tersebut digunakan sebagai skala yang ditetapkan untuk jarak 1 cm. Pengaturan skala ini dilakukan dengan cara *analyze* → *set scale*. Pada proses *set scale* ini diperlukan untuk mengisi *distance in pixel*, *known distance*, dan *unit of length* (Gambar 17).



| | Area | Mean | Min | Max | Angle | Length |
|---|------|---------|-----|---------|-------|--------|
| 1 | 75 | 187.461 | 123 | 201.405 | 4.667 | 73.744 |
| 2 | 75 | 192.162 | 121 | 223.387 | 4.667 | 73.744 |
| 3 | 76 | 201.130 | 148 | 215.669 | 4.222 | 74.703 |

Gambar 15 Hasil penghitungan obyek garis

| Label | Area | Mean | Min | Max | Angle | Length | |
|-------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1 | 75.000 | 187.461 | 123.000 | 201.405 | 4.667 | 73.744 | |
| 2 | 75.000 | 192.162 | 121.000 | 223.387 | 4.667 | 73.744 | |
| 3 | 76.000 | 201.130 | 148.000 | 215.669 | 4.222 | 74.703 | |
| 4 | Mean | 75.333 | 193.584 | 130.667 | 213.487 | 4.519 | 74.064 |
| 5 | SD | 0.577 | 6.945 | 15.044 | 11.152 | 0.257 | 0.553 |
| 6 | Min | 75.000 | 187.461 | 121.000 | 201.405 | 4.222 | 73.744 |
| 7 | Max | 76.000 | 201.130 | 148.000 | 223.387 | 4.667 | 74.703 |

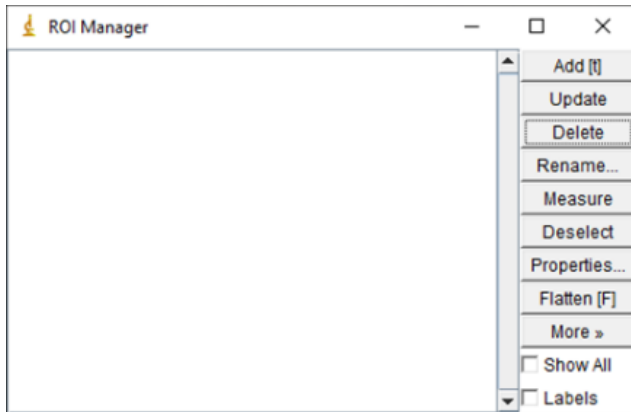
Gambar 16 Rata-rata data ukuran panjang

Gambar 17 Input yang diperlukan saat *set scale*

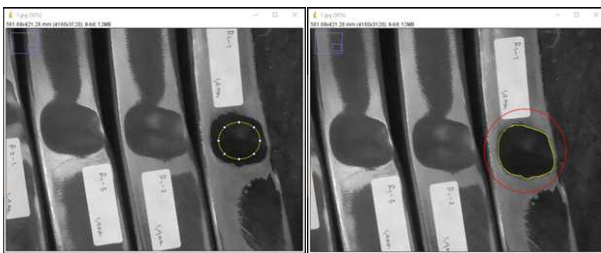
Pengukuran *surface defect* dilakukan pada beberapa obyek secara bersamaan, maka diperlukan tempat untuk mencatat data-data tersebut di *ROI Manager*. Adapun urutan proses tersebut sebagai berikut: *edit* → *selection* → *add to manager*. Tampilan *ROI Manager* ditunjukkan Gambar 18 berikut. Luasan obyek *surface defect* yang akan diukur didekati dengan bentuk *oval selection*. Setelah itu, proses *selection brush tool* diperlukan untuk mengatur bentuk oval yang telah digambarkan sebelumnya sehingga mendekati bentuk luasan obyek yang diukur (Gambar 19). Data luasan obyek *surface defect* yang telah diperoleh ditambahkan ke *ROI Manager* dengan klik *Add (t)* sehingga muncul kode

ANALISIS *SURFACE DEFECT* MENGGUNAKAN IMAGEJ PADA PRODUK HASIL PROSES *ROLL BENDING* PIPA KOTAK

angka secara acak. Selanjutnya kode tersebut bisa diubah dengan *rename* kode yang dikehendaki.

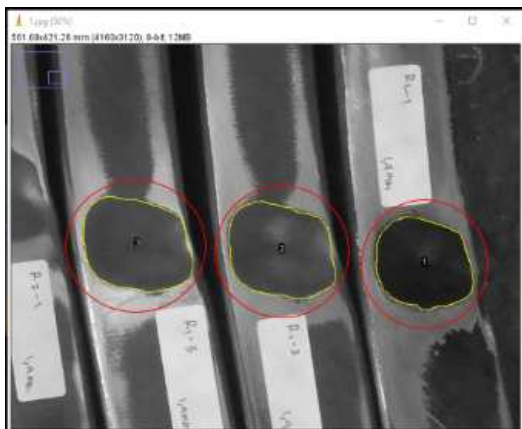


Gambar 18 Tampilan *ROI Manager*



Gambar 19 Penyesuaian bentuk oval dengan brush selection

Pada *ROI Manager* akan ditampilkan data-data obyek *surface defect* yang telah ditambahkan dan di-*rename*. Data-data tersebut akan ditampilkan secara berurutan dengan klik *show all* dan *labels* (Gambar 20). Selanjutnya, luasan dari data-data obyek *surface defect* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan fitur *measure* di *ROI Manager* (Gambar 21). Ukuran luasan yang dihasilkan dalam satuan mm^2 .



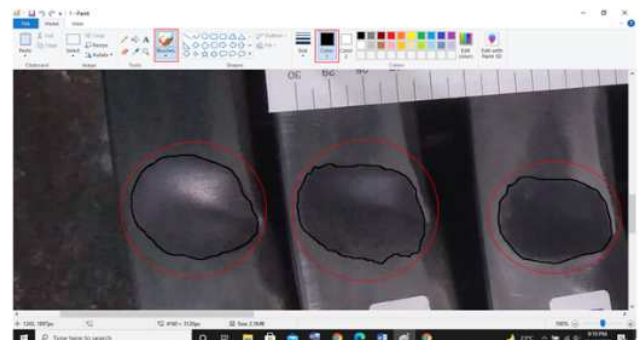
Gambar 20 Obyek *surface defect*

| | Area | Mean | Min | Max |
|---|----------|--------|-----|-----|
| 1 | 947.065 | 34.729 | 13 | 120 |
| 2 | 1110.806 | 73.821 | 47 | 161 |
| 3 | 1115.582 | 75.507 | 53 | 193 |

Gambar 21 Luasan obyek *surface defect*

b. Tahapan Penggunaan Aplikasi ImageJ dengan Metode *Wand (Tracing) Tool*

Pada metode yang kedua ini, teknis yang diperlukan adalah pembuatan batas area *surface defect* dilakukan sebelum masuk ke aplikasi ImageJ. Proses pembuatan batas area tersebut dilakukan dengan mengedit obyek gambar atau foto menggunakan aplikasi Paint. Batas area *surface defect* ditandai dengan menu brush menggunakan warna hitam (Gambar 22).



Gambar 22 Pembuatan batas area *surface defect* dengan aplikasi Paint

Selanjutnya, obyek foto pada Gambar 22 dibuka dengan aplikasi ImageJ. Sebelum proses identifikasi area *surface defect*, tahap pengaturan skala perlu dilakukan dengan *analyze* → *set scale* pada obyek garis yang sudah dibuat sebagai acuan skala. Langkah pengaturan skala ini sama seperti yang dilakukan pada metode pertama (Gambar 15).

Tahap berikutnya melakukan identifikasi area *surface defect* dengan cara *image* → *adjust* → *threshold*. Identifikasi ini bertujuan untuk menampilkan batasan area obyek yang muncul. Untuk memilih obyek area *surface defect* menggunakan langkah *threshold* → *wand (tracing) tool*. Area *surface object* yang terpilih ditandai dengan

munculnya garis kuning mengelilingi obyek tersebut (Gambar 23).

775,81 882,64
861,07 881,03



Gambar 23 Identifikasi area surface defect

ROI Manager diaktifkan untuk mengukur luasan area surface defect yang sudah terpilih dan memilih menu *measure*. Ukuran luasan obyek area surface defect dapat dilihat pada menu *result* di ROI Manager. Pemilihan obyek surface defect yang diukur luasannya dapat dilakukan secara berurutan sehingga muncul penomoran obyek sesuai urutan pemilihannya. Selanjutnya, ukuran luasan obyek-obyek tersebut bisa tampil seluruhnya di menu *result ROI Manager*.

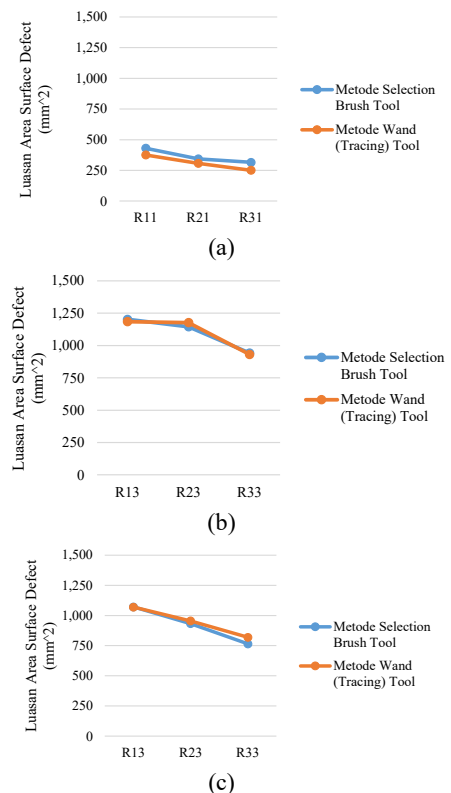
Pembahasan

Tabel I menampilkan data hasil pengukuran luas area surface defect menggunakan metode *selection brush tool* dan *wand (tracing) tool*. Pengukuran luas area surface defect ini dilakukan pada 3 jenis specimen pipa kotak dengan ukuran: 1) 3 cm x 3 cm dengan tebal 1.2 mm; 2) 5 cm x 5 cm dengan tebal 1.2 mm; dan 3) 5 cm x 5 cm dengan tebal 1.4 mm. Hasil pengukuran yang diperoleh dari kedua metode tersebut dapat disajikan pada gambar 24.

Pengamatan surface defect yang terjadi menunjukkan hasil pengukuran luas area yang hampir mendekati antara metode *selection brush tool* dan *wand (tracing) tool*. Hal ini menunjukkan bahwa kedua metode dapat digunakan untuk melakukan identifikasi surface defect yang terjadi pada proses 3 roll bending pipa kotak. Mengacu grafik pada Gambar 24, luas area surface defect bertambah dengan meningkatnya ukuran penampang pipa kotak pada proses 3 roll bending. Sedangkan ketebalan pipa dapat menurunkan terjadinya surface defect tersebut.

TABEL I
PENGUKURAN LUAS AREA SURFACE DEFECT

| Dimensi Pipa | Ketebalan (mm) | Dies | Luas Metode Selection Brush Tool (mm ²) | Luas Metode Wand (Tracing) Tool (mm ²) |
|--------------|----------------|--------|---|--|
| 3x3 | 1,2 | R11 | 515,99 | 460,11 |
| | | | 348,78 | 307,11 |
| | | | 426,16 | 361,08 |
| | | R21 | 365,63 | 275,36 |
| | | | 376,20 | 326,26 |
| | | | 291,13 | 321,74 |
| R31 | 307,23 | 327,32 | | |
| | 273,23 | 212,45 | | |
| | 367,38 | 213,02 | | |
| 5x5 | 1,2 | R13 | 1.240,06 | 1.210,33 |
| | | | 1.005,89 | 989,28 |
| | | | 1.360,44 | 1.355,36 |
| | | R23 | 1.093,03 | 1.134,94 |
| | | | 1.066,89 | 1.076,07 |
| | | | 1.257,29 | 1.320,55 |
| | | R33 | 860,11 | 855,65 |
| | | | 978,63 | 974,25 |
| | | | 987,96 | 964,86 |
| 5x5 | 1,4 | R13 | 971,70 | 952,73 |
| | | | 1.129,69 | 1.119,68 |
| | | | 1.112,44 | 1.137,04 |
| | | R23 | 1.013,89 | 1.032,37 |
| | | | 964,98 | 978,94 |
| | | | 818,65 | 853,07 |
| R33 | 657,58 | 694,29 | | |



Gambar 24 Perbandingan hasil pengukuran luas area surface defect pada pipa ukuran (a) 3 cm x 3 cm, tebal 1.2 mm; (b) 5 cm x 5 cm, tebal 1.2 mm; (c) 5 cm x 5 cm, tebal 1.4 mm

ANALISIS *SURFACE DEFECT* MENGGUNAKAN IMAGEJ PADA PRODUK HASIL PROSES *ROLL BENDING* PIPA KOTAK

Penentuan batas area *surface defect* sangat berpengaruh terhadap proses identifikasi obyek dan hasil pengukuran luasan obyek tersebut. Semakin detail pembuatan batas area *surface defect* yang dilakukan maka hasil pengukuran yang diperoleh akan semakin mendekati luasan obyek sebenarnya. Selain itu, pada metode *wand (tracing) tool* akan dapat mengidentifikasi obyek yang diukur apabila gambar atau foto obyek mempunyai kualitas warna yang baik. Dengan melakukan pengaturan *image threshold* maka obyek area *surface defect* bisa diidentifikasi secara otomatis.

IV. KESIMPULAN

Analisis *surface defect* yang terjadi pada *curved product* hasil proses 3 *roll bending* pipa kotak dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Hasil analisis berupa pengukuran luas area *surface defect* yang terjadi. Teknik pengukuran yang dilakukan dapat menggunakan metode *selection brush tool* dan *wand (tracing) tool* dimana hasil pengukuran yang diperoleh hampir sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kemenristek Brin yang telah mendanai Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PPTUPT) dengan Nomor Kontrak Induk: 313/E4.1/AK.04.PT/2021, Nomor Kontrak Turunan: 011/AMD-SP2H/LT-MULTI-TERAPAN/LL7/2021, 20/AMD-Kontrak/LPPM/UM/IV/2021.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Smith, B., King, M., Bending Square and Rectangular Tubing, *The Tube & Pipe Journal*, <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/tubepipefabrication/bending-square-and-rectangular-tubing>, diakses 15 September 2021
- [2] Agarwal, R., *Tube Bending With Axial Pull And Internal Pressure*, A Thesis, Bangalore University, India, 2004
- [3] Ktari, A., Antar, Z., Haddar, N., Elleuch, K., Modeling And Computation Of The Three-Roller Bending Process Of Steel Sheets, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2012, DOI: 10.1007/s12206-011-0936-4
- [4] Podany, K., Samek, R., Matousek, K., *Mechanics Of Square Tubes Bending And Cross Section Distorsion*, *MM Science Journal*, Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Manufacturing Technology, Dept. of Metal Forming and Plastics, Brno, Czech Republic, 2010
- [5] Cornelissen, R., Maljaars, J., Hofmeyer, H., Buckling and wrinkling of rectangular hollow sections curved in three-point-roll bending, *Int J Adv Manuf Technol*, 2021, <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06443-y>
- [6] Zhu, X., Ogi, K., Okabe, N., Study on Wrinkles during Rotary-Draw Bending Forming, *Materials Science Forum* 943, 43-47, 2019. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.943.43
- [7] He, Y., Jing, Y., Mei, Z., Heng, L., Yongle, K., 3D Numerical Study on Wrinkling Characteristics in NC Bending of Aluminum Alloy Thin-Walled Tubes with Large Diameters under Multi-Die Constraints. *Computational Materials Science* 45, 1052-1067. 2009. doi:10.1016/j.commatsci.2009.01.010
- [8] Chen, J.E.D., Zhang, J., Effects of Process Parameters on Wrinkling of Thin-Walled Circular Tube under Rotary Draw Bending. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68, 1505-1516. 2013. doi:10.1007/s00170-013-4938-5
- [9] Li, H., Liu, Y., Zhu, Y., Yang, H., Global Sensitivity Analysis and Coupling Effects of Forming Parameters on Wall Thinning and Cross-Sectional Distortion of Rotary Draw Bending of Thin-Walled Rectangular Tube with Small Bending Radius. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 74, 581-589. 2014. doi:10.1007/s00170-014-6014-1
- [10] Viorel, P., Tabib, A.K., Maier, C., *The Annals Of "Dunarea De Jos" University Of Galati Fascicle V, Technologies In Machine Building*, 2015, ISSN 1221-4566
- [11] Kale, A.V., Thorat, H.T., Control Of Ovality In Pipe Bending: A New Approach, *Design and Research Conference (AIMTDR 2014)* December 12th-14th, 2014, IIT Guwahati, Assam, India, <https://www.iitg.ac.in/aimtdr2014/PROCEEDINGS/papers/192.pdf>
- [12] Sufiyanto, S., Andrijono, D., "Analisis Roll Bending Process Pada Square Pipe Dengan Desain Flexible Roll," *ROTASI*, vol. 22, no. 3, pp. 169-179, Sep. 2020. <https://doi.org/10.14710/rotasi.22.3.169-179>
- [13] Andrijono, D., Sufiyanto, S., IbM Bengkel Las Teknik Dalam Upaya Peningkatan Kualitas Rectangular Pipe Bending Process Dengan Desain Flexible Roll, *Senadimas Unisri*, ISBN: 978-602-73158-5-3, 106-114, September 2019. <http://ejournal.unisri.ac.id/index.php/sndms/article/view/3233>
- [14] Irete, A.F., Omeiza, A.E., Oluwasegun, K.M., Adeyemi, I. D., Adewale, O.A. & Gnozi, E., Comparison of Imagej Analysis of Structure of Two Constructional Steel. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 318-326. 2018. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.318.326>
- [15] Igathinathane, C., Pordesimo, L.O., Columbus, E.P., Batchelor, W.D., Methuku, S.R., *Computers and Electronics in Agriculture* 63(2):168-182. October 2008. DOI: 10.1016/j.compag.2008.02.007