

Analisis Kekuatan Tarik dan Kekasaran Kawat Tembaga Hasil *Drawing* akibat Variasi Persentase Reduksi

Mohammad Firman, Mahros Darsin, Hari Arbiantara B.
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: mahros.azzahra@yahoo.co.id

Abstract

Wire drawing is cold working process to reduce the cross-sectional area. The value of reduction is different in every process, depend on the needs and working parameters. The degree of reduction causes differences of copper wire rod in the characteristics and quality, such as its tensile strength and roughness. The purpose of this research is to determine the influence degree of reduction to the tensile strength and roughness of copper wire. The research method is comparing the tensile strength and roughness of copper wires control with drawn copper wires, without repetition stage. The specimens used in this research are pure copper rods (99.9%) with 3.1 mm, 3.2 mm and 3.25 mm in diameter and 2.8 mm of die output, so will get the degree of reductions are 19%, 23% and 26%. The results of this research was the wire drawing process increase the tensile strength of copper rods from 86.87 MPa to 100.74 MPa on 19% reduction. On 23% reduction the tensile strength increase from 82.24 MPa to 105.62 MPa. The greatest increase of tensile strength was result by 26% reduction, it was from 86.87 MPa to 115.36 MPa. With the more of degree of reduction on the drawing process led the increase of tensile strength will be greater. This research also obtained the result that the wire drawing process result the decrease roughness of copper rods from 0,144 μm to 0,089 μm on 19% reduction, from 0.146 μm to 0.087 μm on 23% reduction and the copper rod roughness decrease from 0.159 μm to 0.083 μm on 26% reduction. The increase of degree of reduction produce insignificantly result of surface roughness changing.

Keywords: Roughness, Tensile Strength, Wire Drawing, Reduction, Copper

Pendahuluan

Beberapa parameter dalam proses *wire drawing* yang telah diteliti memberikan pengaruh yang cukup kuat terhadap sifat-mekanik kawat hasil *drawing* antara lain, gaya *drawing*, desain cetakan, persentase dan rasio reduksi, kecepatan *drawing*, komposisi dan karakteristik bahan, pelumasan dan proses *treatment* sebelum *drawing*. Penelitian tentang optimasi sudut cetakan pernah dilakukan dengan simulasi melalui bantuan *software ANSYS*. Penelitian tersebut menemukan bahwa gaya dan tegangan *drawing* akan menurun seiring dengan semakin besarnya sudut cetakan *wire drawing*, namun gaya dan tegangan *drawing* tersebut akan kembali meningkat ketika sudut cetakan tersebut terus diperbesar [1]. Sementara pada pengujian langsung didapat hasil bahwa, semakin besar sudut cetakan yang digunakan pada proses *wire drawing*, akan memperkecil tegangan tarik yang dibutuhkan untuk melakukan proses *drawing* [2]. Pengaruh sudut cetakan terhadap efisiensi pengerjaan adalah penggunaan sudut cetakan *wire drawing* yang semakin besar, akan memperbesar produksi hasil *wire drawing* dan juga memperbesar jumlah kerusakan dalam produksi tersebut [3]. Kecepatan *drawing* pada proses *wire drawing* jugaberperengaruh terhadap sifat mekanik kawat hasil *drawing*. Peningkatan kecepatan *drawing* berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan tarik kawat hasil *drawing* [4].

Persentase reduksi pada proses *wire drawing* berpengaruh terhadap beberapa sifat mekanik kawat hasil *drawing*. Semakin besar persentase pengurangan luas kawat tembaga, akan menyebabkan perubahan struktur mikro yang semakin pipih, tanpa ada perubahan fasa dan menyebabkan nilai kekerasan kawat tersebut juga akan semakin besar [5]. Peningkatan persentase reduksi pada proses *wire drawing* kawat NiTi juga akan memperkecil angka kekasarnya dan akan memperbesar tegangan *drawing* yang dibutuhkan untuk melakukan proses *drawing* [6].

Proses *wire drawing* adalah salah satu proses manufaktur yang paling sederhana. Prinsip dasar proses *wire drawing* adalah dengan cara mengurangi luas penampang awal kawat menjadi lebih kecil dengan bantuan *dies*. Besarnya reduksi atau pengurangan luas penampang pada setiap proses *wire drawing* sangat beragam, hal tersebut sangat bergantung pada kebutuhan terhadap hasil akhir kawat yang diinginkan serta parameter pengerjaannya. Semakin besar persentase reduksi pada suatu proses *wire drawing* maka waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan proses tersebut akan semakin cepat.

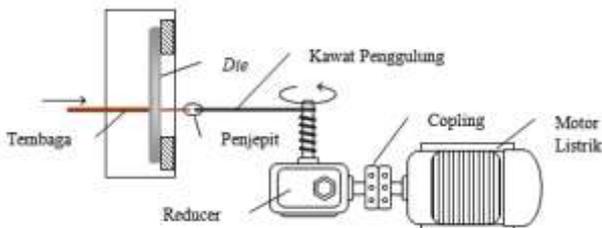
Adanya variasi persentase reduksi akan menyebabkan perbedaan pada kawat hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi akan menyebabkan bagian kawat yang terdeformasi akan semakin besar. Peningkatan daerah yang mengalami deformasi ini diduga akan menyebabkan perbedaan pada sifat-sifat mekanik kawat tembaga hasil proses *drawing*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui

pengaruh variasi persentase reduksi terhadap nilai kekuatan tarik dan kekasaran kawat tembaga hasil penarikan.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu penelitian yang objektif, sistematis, dengan mengontrol variabel bebas yaitu persentase reduksi untuk memprediksi atau mengontrol variabel terikat yaitu kekuatan tarik dan kekasaran kawat tembaga hasil *drawing*. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat (*cause and effect relationship*), dengan cara melakukan proses *drawing* pada kawat tembaga dengan persentase reduksi tertentu, kemudian hasilnya dibandingkan dengan kawat tembaga kontrol yang tidak dikenai proses *drawing*. Penelitian dilakukan di laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Sudut cetakan yang digunakan pada penelitian ini sebesar $33,3^\circ$ atau $\alpha = 16,6^\circ$. Persentase reduksi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 19%, 23% dan 26%, karena untuk mendapatkan nilai *delta factor* (Δ) sebesar (2-3). *Deltafactor* adalah angka perbandingan anatar sudut cetakan dengan reduksi, agar proses *drawing* berjalan optimal. Dengan nilai α sebesar $16,6^\circ$, maka persentase reduksi yang harus digunakan adalah sebesar variasi di atas. Jenis tembaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah tembaga murni dengan komposisi unsur utama Cu 97,9%, Sn 0,5% dan Zn 0,004% serta beberapa unsur lain.



Gambar 1. Mekanisme alat *wire drawing*

Mekanisme alat *wiredrawing* bisa terlihat seperti Gambar 1 di atas. Alat uji *wiredrawing* disiapkan untuk digunakan. Ujung kawat yang sudah diberi proses *preheating* dan sudahdikikir, dimasukkan kedalam lubang cetakan yang sudah ditentukan, kemudian dijepitkan ke kawat penggulung. Motor listrik dinyalakan dan mulai berputar. Putaran tersebut akan ditransmisikan dan direduksikan melalui mekanisme *gearbox* hingga putaran tersebut akan menjadi lebih rendah. Mekanisme putaran tersebut akan menggulung kawat penggulung dan akan menarik kawat tembaga melewati cetakan hingga kawat tembaga mengalami proses deformasi permanen. Prosedur *drawing* diulangi untuk setiap variasi persentase reduksi yang ada.

Pengujian Uji Tarik

Kawat tembaga hasil *drawing* dipotong sebagai sampel pengujian dengan ukuran spesimen sesuai dengan standar ASTM E8. Spesimen yang sudah memenuhi standar pengujian kemudian dicekamkan pada alat uji tarik. Kemudian spesimen uji mulai ditarik dengan memberikan beban penarikan secara perlahan, hingga spesimen uji putus. Gaya dan besar petambahan panjang yang tampil pada layar

alat uji direkam sampai spesimen patah. Pengujian diulangi untuk setiap spesimen uji yang ada.

Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat pengaruh proses *drawing*. Pengujian metalografi dilakukan dengan mulai menghaluskan spesimen hingga benar-benar halus. Kemudian dilakukan proses *polishing* dengan menggunakan media autosol. Setelah itu spesimen uji dietsa dengan campuran cairan 50% HNO₃ dan 50% H₂O dan direndam selama 30 detik, kemudian dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer*. Speimen uji yang sudah siap, kemudian diuji metalografi dengan menggunakan mikroskop optik. Pengujian metalografi ini dilakukan untuk memudahkan analisis hasil pada penelitian ini. Spesimen yang diuji yaitu kawat sebelum mengalami proses *drawing* dan yang sudah mengalami proses *drawing*.

Pengujian Kekasaran

Spesimen pengujian disiapkan dengan memotong sebagian kawat tembaga dengan panjang sekitar 30 mm sebagai sampel penujian. Alat roughness tester dihubungkan dengan komputer dan jalankan Software TR220 untuk menampilkan hasil pengujian kekasaran pada layar komputer. Spesimen uji diletakkan di bawah sensor alat uji dengan posisi sejajar, dan perlu dipastikan bahwa spesimen uji benar-benar berada posisi datar untuk mengurangi resiko kegagalan pengujian kekasaran. Pengujian kekasaran dimulai. Pengujian dilakukan pada arah memanjang pada kawat tembaga. Pengujian dimulai ketika sensor mulai bergerak kearah memanjang kawat untuk membaca kontur permukaan kawat tembaga. Hasil pengujian akan ditampilkan pada layar komputer. Pengujian diulangi pada 4 titik berbeda agar mendapatkan data hasil pengujian yang lebih mendekati kebenaran. Kemudian dari 4 data hasil pengujian tersebut akan diambil nilai rata-rata kekasarannya.

Hasil Penelitian

Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik kawat tembaga yang belum dan sudah mengalami proses *drawing* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

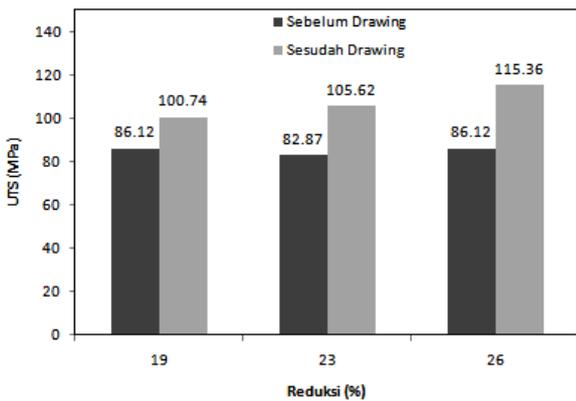
Tabel 1. Nilai kekuatan tarik hasil pengujian tarik

Reduksi (%)	UTSo (MPa)	UTSi (MPa)	Δ UTS (MPa)	Persentase Δ UTS (%)
19	86,12	100,74	14,62	16,98
23	82,87	105,62	25,75	27,45
26	86,12	115,36	29,25	33,96

Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan adanya perbedaan nilai kekuatan tarik kawat tembaga yang belum dan yang sesudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa proses *drawing* yang terjadi pada kawat tembaga menyebabkan terjadinya

peningkatan nilai kekuatan tarik kawat tembaga hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi yang terjadi juga menyebabkan peningkatan nilai kekuatan tarik yang semakin besar.

Nilai kekuatan tarik terbesar didapat pada kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing* pada persentase reduksi 26 %. Artinya proses *drawing* menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik. Sementara peningkatan persentase reduksi pada proses *drawing* tersebut juga akan memperbesar peningkatan nilai kekuatan tarik kawat tembaga tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 2 berikut .



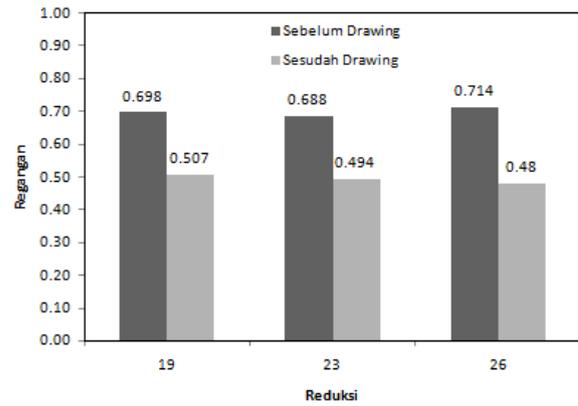
Gambar 2. Grafik kekuatan tarik hasil pengujian tarik

Sementara nilai regangan pada pengujian tarik bisa dilihat seperti Tabel 2. Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan adanya perbedaan nilai regangan kawat tembaga yang belum dan yang sesudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa proses *drawing* yang terjadi pada kawat tembaga menyebabkan terjadinya penurunan nilai regangan kawat tembaga hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi yang terjadi juga menyebabkan penurunan nilai regangan yang semakin besar.

Tabel 2. Nilai regangan hasil pengujian tarik

Reduksi (%)	ϵ_{maxo}	ϵ_{maxi}	$\Delta\epsilon_{max}$	Persentase $\Delta\epsilon_{max}$ (%)
19	0,698	0,507	-0,191	-27,36
23	0,688	0,494	-0,194	-28,20
26	0,714	0,480	-0,234	-32,77

Nilai regangan terbesar didapat pada kawat tembaga berdiameter 3,25 mm, sementara nilai regangan terkecil didapat pada kawat tembaga 3,25 mm yang sudah mengalami proses *drawing* dengan reduksi 26%. Artinya proses *drawing* menyebabkan terjadinya penurunan nilai regangan. Sementara peningkatan persentase reduksi pada proses *drawing* tersebut juga akan memperbesar penurunan nilai kekuatan tarik kawat tembaga tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik regangan hasil pengujian tarik

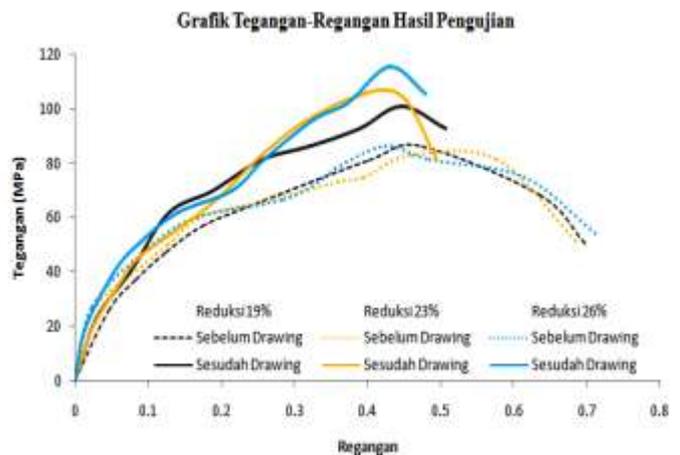
Hasil Pengujian Kekasaran

Hasil pengujian kekasaran kawat tembaga yang belum dan sudah mengalami proses *drawing* dapat dilihat pada Tabel 3.

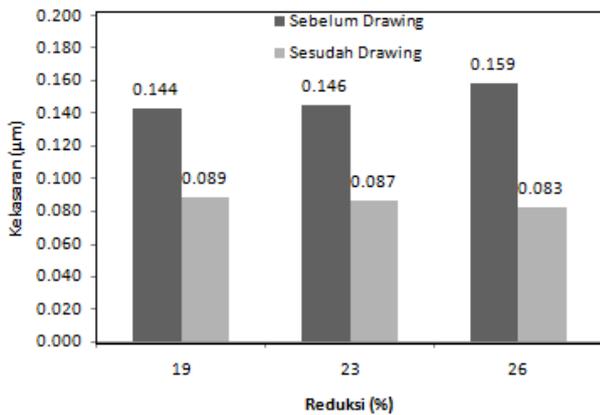
Tabel 3. Nilai kekasaran hasil pengujian kekasaran

Reduksi (%)	Ra_o (μm)	Ra_i (μm)	ΔRa (μm)	Persentase ΔRa (%)
19	76,76	55,72	-21,04	-27,41
23	75,73	54,38	-21,35	-28,19
26	78,58	52,76	-25,82	-32,86

Dalam penelitian ini pengujian kekasaran dilakukan sebanyak dua tahap, yaitu sebelum dan sesudah kawat mengalami proses *drawing*. Kedua data hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat pengaruh proses *drawing*. Setiap pengujian kekasaran dilakukan pada 4 titik yang berbeda, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik tegangan regangan hasil pengujian



Gambar 5. Grafik hasil pengujian kekasaran

Dari hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel 3 didapatkan data penurunan nilai kekasaran kawat tembaga akibat pengaruh proses *drawing*. Nilai kekasaran kawat tembaga yang belum mengalami proses *drawing* lebih besar dari pada nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai kekasaran kawat tembaga yang telah mengalami proses *drawing* hampir sama antar variasi reduksi seperti yang terlihat pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan persentase reduksi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap besar penurunan nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *wire drawing*.

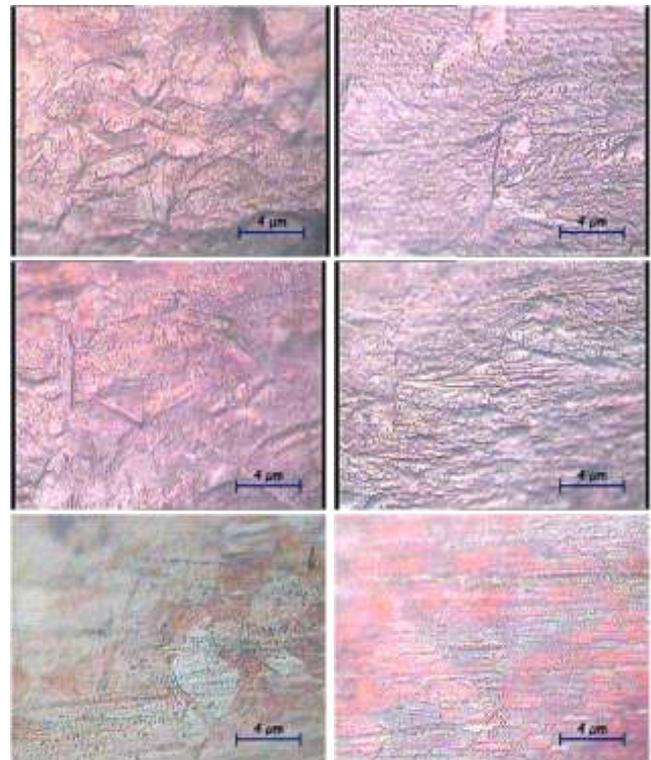
Pembahasan

Kekuatan Tarik

Deformasi yang terjadi pada proses *wire drawing* ini diakibatkan oleh gaya tekan cetakan yang diterima kawat tembaga sebagai gaya reaksi terhadap gaya tarik yang digunakan untuk menarik kawat melewati cetakan. Gaya yang diterima oleh kawat tembaga untuk mendeformasi kawat tersebut, menyebabkan terjadinya pergeseran atom-atom searah dengan gaya tekan cetakan pada kawat tembaga. Pergeseran atom-atom ini disebut dengan dislokasi. Dislokasi ini yang akan menyebabkan perubahan bentuk atau deformasi pada kawat tembaga. Ketika gaya yang diterima oleh kawat tembaga lebih besar dari pada tegangan luluhnya, maka atom yang sudah bergeser akan sangat sulit untuk kembali ke posisi semula, sehingga akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen. Artinya, deformasi permanen akan tercapai apabila tegangan dan regangan secara bersamaan melampaui kekuatan luluhnya. Pada Gambar 6 di bawah dapat dilihat kawat yang sudah mengalami proses *drawing* juga dapat diamati terjadinya dislokasi yang ditunjukkan oleh beberapa garis memanjang yang saling tumpang-tindih dengan arah sejajar satu sama lain. Pada saat menerima beban, struktur atom yang letaknya acak akan lebih teratur karena atom-atom tersebut akan terdorong untuk mengisi celah-celah antar atom yang masih mungkin ditempati. Ketika posisi atom sudah saling mengisi dan tidak memungkinkan untuk terjadi pergeseran lagi, atom tersebut akan mengalami deformasi. Dalam jumlah yang

cukup besar, perubahan bentuk atom tersebut akan menyebabkan deformasi material yang bisa dilihat secara kasat mata.

Ketika satu atom berpindah ke posisi baru, atom tersebut terkadang akan berada pada jalur pergeseran atom lain dan saling menutupi. Dalam posisi seperti ini pergeseran atom yang sudah terjadi akan menghambat atom lain untuk melakukan pergeseran lanjutan. Artinya suatu dislokasi akan menghambat dislokasi lebih lanjut, sehingga akan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk melakukan dislokasi lebih lanjut. Kemacetan pergeseran antar atom yang terjadi akan menyebabkan peningkatan tegangan geser kritis kawat tembaga. Dengan meningkatnya tegangan geser kritis kawat tembaga, maka kekuatan kawat tembaga juga akan semakin meningkat fenomena ini disebut dengan pengerasan regang.



Gambar 6. Hasil pengujian metalografi

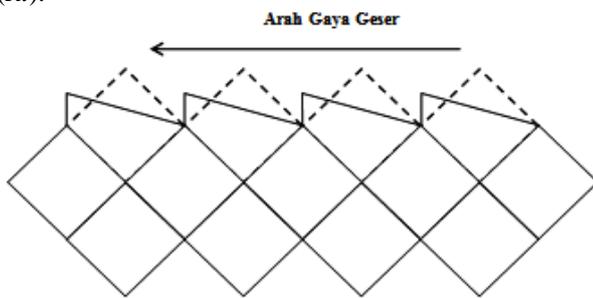
Dari penjelasan tersebut dapat ditarik suatu hubungan keterkaitan dengan data hasil pengujian. Dislokasi yang terjadi akibat proses *wire drawing*, menyebabkan terjadinya pengerasan regang akibat pergeseran atom yang terjadi, sehingga akan meningkatkan tegangan geser kritis dan kekuatan tarik kawat tembaga hasil *drawing*. Dislokasi yang telah terjadi juga akan menghambat terjadinya dislokasi lanjutan, artinya atom-atom akan lebih sulit untuk melakukan pergeseran lagi, sehingga kemampuan kawat tembaga untuk melakukan peregangan akan semakin menurun. Maka dari itu proses *wire drawing* yang dialami oleh kawat tembaga dapat meningkatkan kekuatan tarik kawat dan menurunkan regangan kawat tembaga tersebut

Kekasaran

Perubahan posisi struktur atom yang semakin teratur pada jumlah yang besar akan membuat lokasi butir-butir yang

semakin teratur, sehingga akan memperbaiki kontur permukaan kawat tembaga tersebut. Kontur permukaan yang tidak rata akan mengalami deformasi searah dengan gaya tekan cetakan. Gaya tekan yang searah dengan arah transversal kawat akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada permukaan kawat tembaga. Hal ini akan menyebabkan sebagian kontur yang menonjol akan terdeformasi ke arah samping seperti yang terlihat pada Gambar 7 berikut.

Deformasi yang terjadi akan menyebabkan jarak antara puncak dan lembah (R_t) pada kontur permukaan kawat semakin dekat. Dengan menurunnya nilai profil kedalaman akan menyebabkan penurunan nilai kekasaran kawat tembaga. Hal ini disebabkan nilai kekasaran (R_a), merupakan nilai perataan aritmetris dari profil kedalaman (R_t).



Gambar 7. Deformasi permukaan akibat proses *drawing*

Gaya tekan cetakan untuk setiap variasi reduksi sudah melebihi batas kekuatan luluh permukaan tembaga. Hal ini ditandai dengan terjadinya deformasi pada permukaan kawat tembaga. Ketika satu atom mengalami deformasi akibat gaya tekan cetakan, atom tersebut akan mengalami perubahan hingga batas maksimalnya. Pada posisi seperti ini atom tersebut tidak akan lagi mengalami perubahan, energi yang diterima akan disalurkan ke atom-atom yang lain. Sehingga berapa besarnya gaya yang diterima oleh kawat tembaga akan menyebabkan deformasi permukaan yang hampir sama, selama gaya tersebut sudah melebihi batas kemampuan kawat tembaga tersebut.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Proses *wire drawing* kawat tembaga menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik dan penurunan nilai regangan kawat tembaga. Dengan meningkatnya persentase reduksi pada proses *wire drawing* akan memperbesar peningkatan nilai kekuatan tarik dan memperbesar penurunan nilai regangan yang terjadi pada kawat tembaga hasil *drawing*.

Proses *wire drawing* kawat tembaga menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekasaran kawat tembaga. Namun nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing* hampir sama, artinya peningkatan persentase reduksi menyebabkan perbedaan nilai kekasaran yang tidak terlalu signifikan terhadap nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing*.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya bisa memvariasikan persentase reduksi dan sudut cetakan secara kombinasi untuk mendapatkan proses pengerjaan dan hasil *wire drawing* yang lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa PPA tahun 2009-2012.

Daftar Pustaka

- [1] A. Nugroho, "Analisa *wire drawing* pada proses penarikan kawat tembaga menggunakan simulasi software Ansys 8.0," Tugas akhir: Jurusan Teknik Mesin, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang (2007).
- [2] N. Noonai, P. Kaewtathip, dan J. Kajornchaiyakul, "Influences of reduction ratio on mechanical properties and transformation temperature of NiTi drawn wires," Krab: TSME-ICOME (2011).
- [3] T. Viktor, "Effect of drawing angle size of a die on wire drawing and bunching process," Brno: METAL (2012).
- [4] M. Suliga, "The influence of the high drawing speed on mechanical-technological properties of high carbon steel wires. Archives of Metallurgy and Materials," (2011) 56(3):5-25.
- [5] S. Arivandi, "Pengaruh variasi pengurangan diameter pada proses *wire drawing* terhadap struktur mikro dan kekerasan kawat paduan tembaga. Tugas akhir: Jurusan Teknik Mesin. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta (2009).
- [6] E. M. Rubio, A. M. Camacho, L. Sevilla, dan M. A. Sebastian. "Calculation of the forward tension in drawing processes," J. Materi. Proces. Technol, (2005) 162(163):551-557.