

## PENGARUH PROSES TEMPAN DAN PERLAKUAN PANAS FASA GANDA DENGAN TEMPER TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA AISI 1045

Subagiyo

Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang  
[subagiyo@polinema.ac.id](mailto:subagiyo@polinema.ac.id)

### Abstrak

Fasa ganda (*Dual Phase*) adalah struktur baru pada baja karbon rendah dan medium yang diperoleh dari pemanasan baja karbon rendah atau sedang pada daerah  $\alpha + \gamma$  (temperatur antara A1-A3), kemudian ditahan (*holding*) dalam waktu tertentu dan didinginkan dengan cepat (*quench*) dalam air, air garam atau oli, hasilnya mempunyai struktur mikro martensit dan ferit atau dengan sedikit struktur lain, sehingga mempunyai kekuatan tarik tinggi, elongasi yang baik dan tidak ada diskontinuitas luluh, permasalahannya adalah bagaimana perlakuan panas fasa ganda (*dual phase*) dilakukan pada produk hasil tempa (*forging*)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik hasil dari proses tempa (*forging*) baja karbon sedang pada perlakuan panas *dual phase* dan *tempering*, dengan variasi temperatur pemanasan dan waktu penahanan, untuk mengetahui temperatur dan waktu penahanan yang menghasilkan sifat mekanik yang maksimum. Dalam penelitian ini menggunakan baja AISI 1045 diameter  $\varnothing 16\text{mm} \times 150\text{mm}$ , dipanaskan sampai temperatur  $1000^\circ\text{C}$  pada dapur pemanas (*furnace*) dan waktu penahanan (*holding time*) selama 30 menit, kemudian ditempa pada temperatur  $950^\circ\text{C}$  -  $900^\circ\text{C}$  menjadi bentuk penampang segi empat dengan ukuran  $10\text{mm} \times 16\text{mm} \times 180\text{mm}$ , dilanjutkan dengan pendinginan yang berbeda dan pemanasan *dual phase* pada temperatur  $730^\circ\text{C}$  dan  $770^\circ\text{C}$ , ditahan pada 30', 60' dan 90' didinginkan dengan cepat pada oli, dilanjutkan dengan proses *tempering*  $450^\circ\text{C}/30'$  dan  $600^\circ\text{C}/30'$ .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas *dual phase* meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan, maksimum dicapai pada  $770^\circ\text{C}/90'$  yaitu dari kondisi awal  $\sigma_u = 611,98 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 343,75 \text{ N/mm}^2$  dan kekerasan 16,67HRC menjadi  $\sigma_u = 846,35 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 570,31 \text{ N/mm}^2$  dan kekerasan 38,00 HRC, tetapi elongasi turun dari 32,29% menjadi 22,98%, Setelah *tempering* sifat mekanik maksimum diperoleh  $\sigma_u = 760,42 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 486,98 \text{ N/mm}^2$  dan kekerasan 33,00 HRC pada *dual phase*  $770^\circ\text{C}/90'$  ditemper  $450^\circ\text{C}/30'$ , dan elongasi maksimum 38,54% diperoleh pada *dual phase*  $770^\circ\text{C}/60'$  ditemper  $600^\circ\text{C}/30'$ .

Kata Kunci : *Forging*, Fasa ganda (*dual phase*), *thermomechanical treatment*, baja AISI 1045, *tempering*.

### Abstract

*Dual Phase Microstructure is a new formation of a low/medium carbon steel, which produced by heat treatment process. The steel is heated at  $\alpha + \gamma$  temperature (above A1 and below A3 area), held in several minute and quenched in the water, salt or oil.*

*Steel that has been heat treated by this method will contain two phases (ferrite and martensite) is called dual phase steel, that has high tensile strength and considerably larger elongation than conventional hot-rolled steel. The problem is how the mechanical properties of dual phase after forging and tempering.*

*The purpose of this research is to know the mechanical properties of the dual phase medium carbon steel after forging and tempering with different temperature and holding time. Material used in this research is AISI 1045 steel bar  $\varnothing 16 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ , heated on the furnace until  $1000^\circ\text{C}$  and holding in 30 minute, then forged at  $950^\circ\text{C}$  -  $900^\circ\text{C}$  to be rectangular section  $10 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ ,  $180 \text{ mm}$  length and cooling in different rate, continued heating at  $730^\circ\text{C}$  and  $770^\circ\text{C}$  (*dual phase temperature*), holding in 30', 60', 90' and quenching in oil, next tempering at  $450^\circ\text{C}/30'$  and  $600^\circ\text{C}/30'$ .*

*The result of this research shows that the dual phase increasing of tensile strength and hardness, the maximum produced by  $770^\circ\text{C}/90'$  dual phase from  $\sigma_u = 611,98 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 343,75 \text{ N/mm}^2$  and hardness 16,67HRC to  $\sigma_u = 846,35 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 570,31 \text{ N/mm}^2$  and hardness 38,00 HRC, but elongation decreasing from 32,29% to 22,98%, after tempering the maximum mechanical properties are  $\sigma_u = 760,42 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 486,98 \text{ N/mm}^2$  and hardness 33,00 HRC at *dual phase*  $770^\circ\text{C}/90'$  tempered at  $450^\circ\text{C}/30'$ , and maximum elongation was 38,54% at *dual phase*  $770^\circ\text{C}/60'$  tempered  $600^\circ\text{C}/30'$ .*

**Key word** : *Forging*, *Dual phase*, *thermomechanical treatment*, AISI 1045 steel, *tempering*

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan komponen yang ringan dan pentingnya pengurangan biaya produksi telah mengarah pada semakin banyaknya pengembangan struktur material baru untuk mendapatkan komponen yang ringan tetapi mempunyai kekuatan tarik tinggi (memiliki *strength weight ratio* yang tinggi). Pengembangan struktur material baru dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, dengan material *composed*, penemuan material baru ataupun perlakuan terhadap material, dengan proses perlakuan panas atau dengan proses yang lain.

Baja fasa ganda (*dual phase steel*) merupakan struktur baru, diperoleh dari baja karbon rendah dan sedang (*hypoeutectoid steel*) yang memiliki struktur mikro ferit dan perlit, diproses perlakuan panas (*heat treatment*) atau *thermomechanical treatment* dengan pemanasan pada temperatur antara  $A_1$  dan  $A_3$  (daerah ferit dan austenit atau  $\alpha+\gamma$ ), kemudian didinginkan cepat (*quench*) sehingga terbentuk struktur mikro baru yaitu martensit dalam matrik ferit yang memiliki sifat mekanik kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan baja hasil rol panas konvensional dan mempunyai elongasi yang lebih baik dan tidak ada diskontinuitas luluh (Karl erik thelning, 1994)

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini adalah :

A. Lis, A.K. Lis and J.KKolan (2005) dalam penelitiannya pada baja C-Mn dengan dua perlakuan, pertama dengan *Thermomechanical rolling* pada temperature 1273K – 1298K (temperature austenit) dibiarkan beberapa saat diudara kemudian didinginkan dengan cepat (*quench*) dalam air, kedua dengan proses *annealing* pada temperature  $\alpha+\gamma$ , ditahan beberapa saat kemudian didinginkan dengan cepat dalam air dan ditemper, hasilnya setelah proses *thermomechanical treatment* (TMT) struktur mikro menjadi Bainit-Martensit- Austenit island (BMA) dalam matrik ferit, sedang hasil dari proses *annealing* struktur mikro terdiri dari Ferit-Martensit dan terdeteksi sedikit carbide dan perlit. Kekuatan tarik tertinggi dicapai dari proses *thermomechanical rolling*, yaitu  $TS = 959$  MPa,  $YS = 795$  MPa dan  $EL = 9,9\%$  direkomendasi untuk ditemper.

Dr. Amin D. Thamir, Dr. Mohammed H. Hafiz dan Mahdi Mutar Hanoon (2009), dalam penelitiannya tentang studi pengaruh

*Thermomechanical treatment* untuk meningkatkan sifat mekanik baja DIN 42 Cr Mo, yaitu dengan memanaskan baja hingga temperatur 1150°C dan ditempa (*forging*) pada temperatur 1000°C dengan variasi beban/deformasi ( 800, 1000, 2500 dan 4000 ton / 26%, 31%, 45% dan 61%) kemudian didinginkan diudara hingga temperature kamar. Hasilnya ada peningkatan kekuatan tarik dari 625 Mpa menjadi 730 Mpa, 755 Mpa, 725 Mpa dan 710 Mpa ( kekuatan tarik paling tinggi pada deformasi 31 % ).

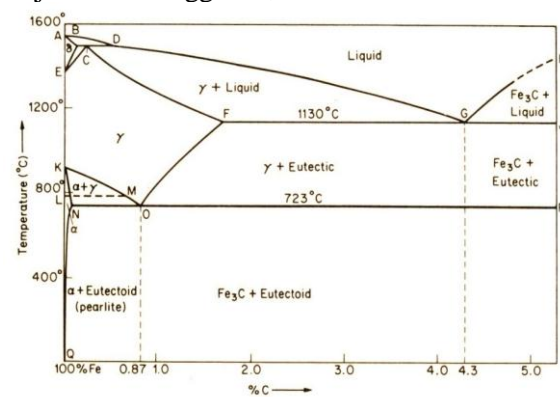
Dengan uraian penjelasan di atas , maka peneliti menganggap perlu untuk dilakukan penelitian tentang proses perlakuan panas fasa ganda setelah proses tempa dan dilanjutkan dengan *tempering* pada baja karbon sedang (1045), untuk mengetahui sifat mekanik kekuatan tarik, elongasi dan kekerasan yang dihasilkan.

### Baja karbon :

Baja karbon rendah 0 – 0,25 %C

Baja karbon sedang > 0,25 – 0,50 %C

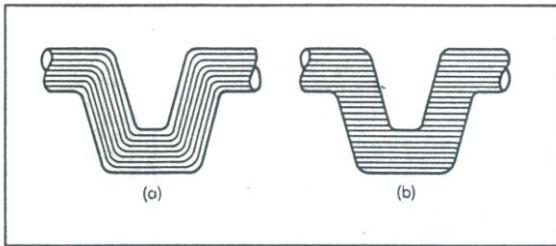
Baja karbon tinggi > 0,50% C



Gambar 1 Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C  
Sumber : V.B. John, 1983

### Proses tempa :

Proses tempa panas adalah pembentukan logam pada temperatur tinggi di atas temperatur rekristalisasi (deformasi plastis) untuk mencegah *strain hardening* pada logam.

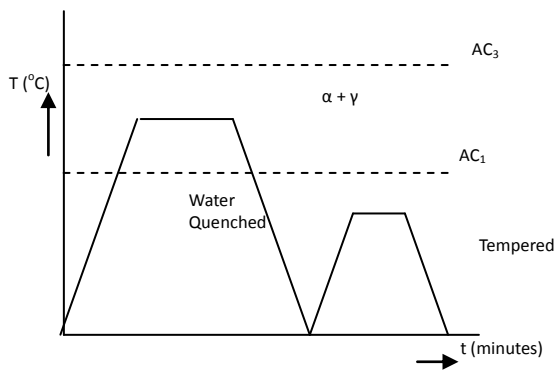


Sumber : William F.Hosford&Robbert M.Caddell 1993

**Gambar 2** Perbedaan *grain flow* antara hasil *hot forging* dan hasil *machining*

**Proses perlakuan fasa ganda (*dual phase*):**

Daerah perlakuan panas untuk dual phase terletak antara A1-A3 (daerah  $\alpha+\gamma$ ) seperti gambar 2.3 berikut:

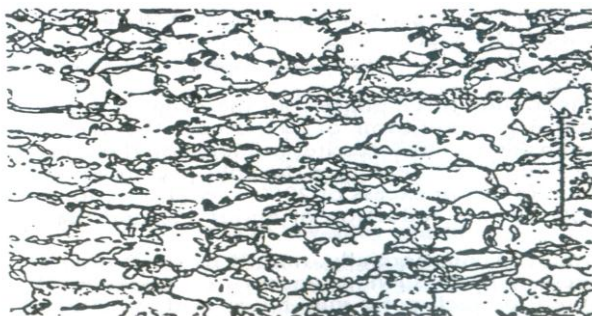


Sumber : J. Lis, A. K. Lis and C. Kolan 2005

**Gambar 4.** Diagram proses perlakuan panas pembentukan fasa ganda

**Struktur mikro fasa ganda (*dual phase*) :**

Struktur mikro terdiri dari ferit (terang/putih) dan martensit (gelap/sisik) seperti gambar 2.4 berikut :



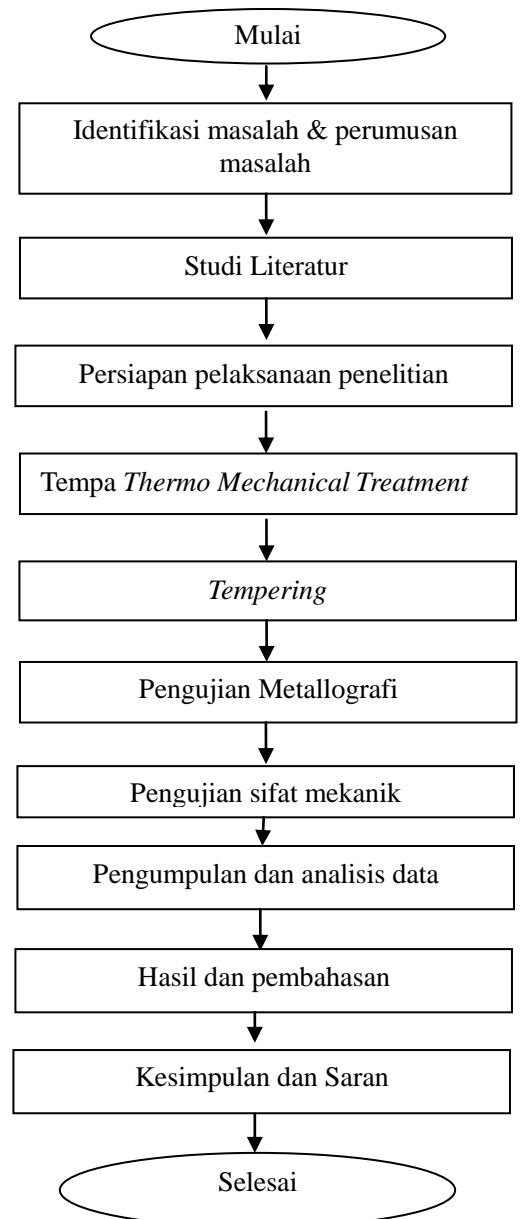
Sumber : Karl-erik Thelning 1994

**Gambar 3.** Struktur mikro Baja fasa ganda

**2. METODE PEMBAHASAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan metode uji pendukung antara lain : Foto struktur mikro, Uji tarik dan Uji kekerasan.

Pelaksanaan penelitian digambarkan seperti pada diagram alir penelitian gambar 2.5 berikut:



**Gambar 5.** Diagram Alir Penelitian

**Variabel Penelitian**

**Variabel bebas :**

Variabel bebas pada penelitian ini adalah Temperatur dan Waktu penahanan pada Dual phase

(730°C dan 770°C / 30', 60', 90') dan Tempering (450°C dan 600°C / 30').

**Variabel Terikat :**

Variabel terikat pada penelitian ini adalah sifat mekanik berupa Kekuatan tarik, Elongasi dan Kekerasan bahan.

**Variabel terkontrol :**

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah Temperatur forging 950-900°C, Beban pemukul 75 Kgf dan ukuran cetakan 10x16x180 mm.

**Bahan dan Alat**

**Bahan :**

Bahan yang digunakan dalam percobaan adalah baja AISI 1045 dengan komposisi sebagai berikut :  
C = 0,43-0,50%; Mn = 0,60-0,90%;  
P = 0,040% maks, dan S = 0,050% maks.



Gambar 6. Bahan Spesimen sebelum perlakuan .

**Alat :**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian :

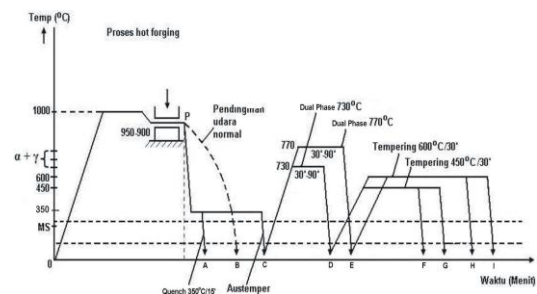
- Furnace
- Cetakan Tempa dan paron
- Beban pemukul
- Mesin bubut dan frais
- Mesin uji tarik
- Mesin uji kekerasan
- Mesin gerinda potong
- Mesin cetak plastik (mounting)
- Mesin poles
- Mikroskop
- Foto digital
- Alat ukur Mistar sorong.

**3.3 Prosedur Percobaan.**

Proses perlakuan seperti terlihat pada gambar 3.2, menggambarkan proses tempa dan pembentukan fasa ganda, benda kerja diameter 16 mm x 150mm dipanaskan di dalam furnace hingga temperatur 1000 °C, dan ditempa pada temperatur 950°C - 900°C menjadi 10mmx16mmx180mm

dilanjutkan dengan proses pendinginan berbeda dan pembentukan fasa ganda pada temperatur  $\alpha+\gamma$  ( 730°C dan 770°C) kemudian didinginkan dengan cepat pada oli dan dilanjutkan dengan proses temper pada temperatur 450°C/30' dan 600°C/30'.

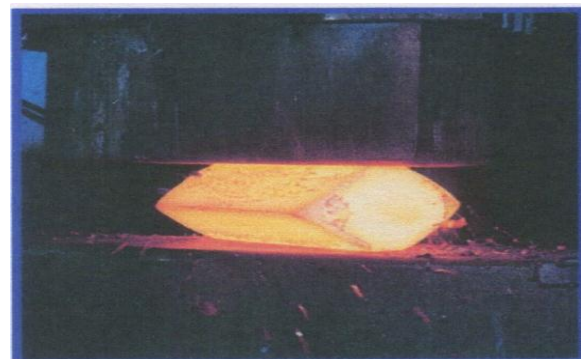
Hasil dari perlakuan di atas selanjutnya dibentuk sesuai dengan standar JIS Z 2201 untuk dilakukan uji tarik, uji metalografi dan uji kekerasan metode Rockwell C.



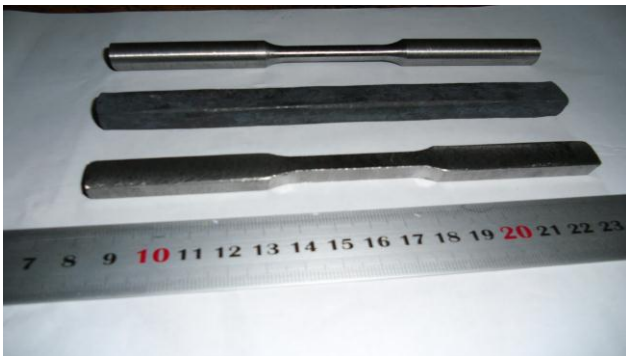
Gambar 7. Diagram proses perlakuan

**Keterangan :**

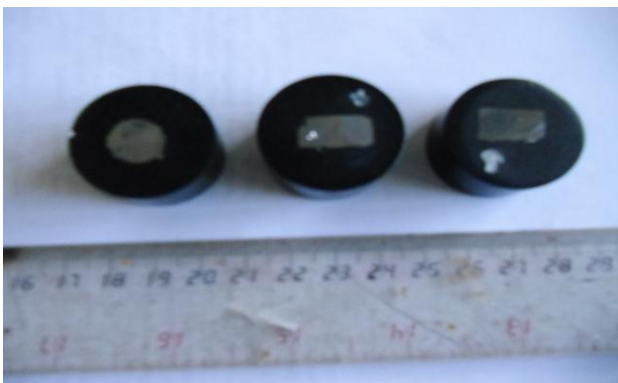
- O-P : Pemanasan hingga temperatur 1000°C dan proses Forging ( 950°C-900°)
- P-A : Pasca Forging di quench dengan holding diatas MS (350°C/15')
- P-B : Pasca Forging pendinginan udara (normal)
- P-C : Pasca Forging di Austemper
- C-D: Pasca Forging dual phase 730°C
- C-E: Pasca Forging dual phase 770°C
- D-F : Dual phase 730°C ditemper 450°C
- D-H : Dual phase 730°C ditemper 600°C
- E-G : Dual phase 770°C ditemper 450°C
- E-I : Dual phase 770°C ditemper 600°C



Gambar 8. Proses penempaan



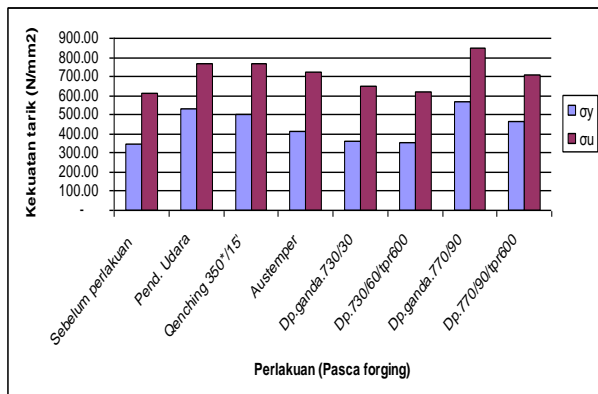
Gambar 9. Spesimen hasil tempa dan spesimen untuk uji tarik.



Gambar 10. Spesimen untuk uji metalografi.

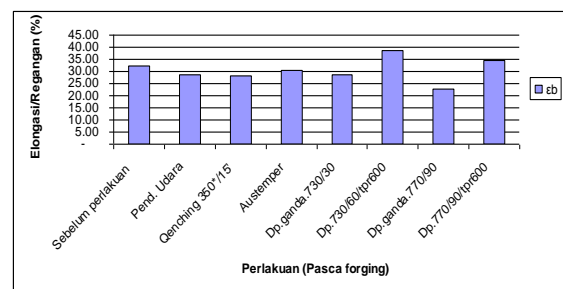
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN Perbandingan Kekuatan tarik, Elongasi/ Regangan dan Kekerasan baja AISI 1045 sebelum dan setelah perlakuan pasca *forging*.

Beberapa proses/perlakuan pasca *forging* yaitu *Quenching* 350°C/15', Pendinginan udara (normal), Austemper, *Dual phase*, dan *Tempering* ditunjukkan dalam diagram proses (O-P, P-A, P-B, P-C, C-D, C-E, D-F, D-H, E-G dan E-I) pada gambar 3.2, Data hasil uji tarik dan uji kekerasan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3.



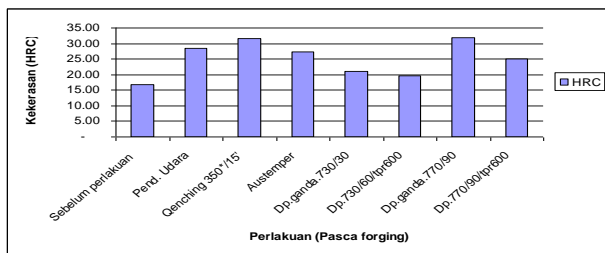
Gambar 11. Kekuatan tarik vs Perlakuan Sebelum dan Pasca forging

Dari grafik gambar 4.1 terlihat bahwa kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_u$ ) semua perlakuan pasca *forging* mengalami peningkatan dibanding dengan material asli sebelum perlakuan (611,98 N/mm<sup>2</sup>), kekuatan tarik tertinggi pada *dual phase* 770°C/90' yaitu 846,35 N/mm<sup>2</sup> dan setelah ditemper 600°C menjadi 708,33 N/mm<sup>2</sup>, sedang untuk *dual phase* 730°C/30' kekuatan tariknya terendah setelah perlakuan yaitu 645,35 N/mm<sup>2</sup> setelah ditemper 600°C menjadi 614,58 N/mm<sup>2</sup>, dan untuk perlakuan yang lain, pendinginan udara adalah 770,83 N/mm<sup>2</sup>, *quench* 350°C/15' adalah 765,63 N/mm<sup>2</sup>, dan austemper adalah 723,96 N/mm<sup>2</sup>. Jika dilihat kekuatan tarik yiel ( $\sigma_y$ ) semua perlakuan mengalami peningkatan dibanding material asli sebelum perlakuan (343,75 N/mm<sup>2</sup>), tertinggi juga pada *dual phase* 770°C/90' yaitu 570,31 N/mm<sup>2</sup> dan setelah ditemper 600°C menjadi 463,54 N/mm<sup>2</sup>, untuk perlakuan yang lain adalah pendinginan udara 531,25 N/mm<sup>2</sup>, dan *quench* 350°C/15' adalah 500,00 N/mm<sup>2</sup>, dan austemper adalah 414,06 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 12. Elongasi/Regangan vs Perlakuan Sebelum dan Pasca forging .

Dari grafik gambar 4.2 dapat dilihat bahwa elongasi/regangan dibanding dengan material asli sebelum perlakuan (32,29%), elongasi/regangan tertinggi terletak pada *dual phase* 730°C/30' ditemper 600°C yaitu 38,54% dan diikuti berturut-turut yaitu *dual phase* 770°C/30' ditemper 600°C yaitu 34,38%, austemper 30,52%, pendinginan udara 28,44%, *quench* 350°C/15' adalah 28,13%, serta *dual phase* 770°C/90' yaitu 22,92%.

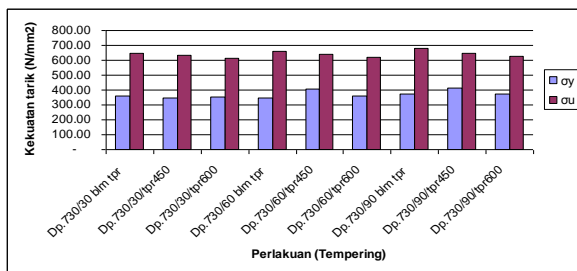


Gambar 13. Kekerasan vs Perlakuan Sebelum dan Pasca forging .

Dari grafik gambar 4.3. dapat dilihat bahwa semua kekerasan pasca *forging* mengalami peningkatan dibanding dengan material asli sebelum perlakuan (16,67 (HRC),

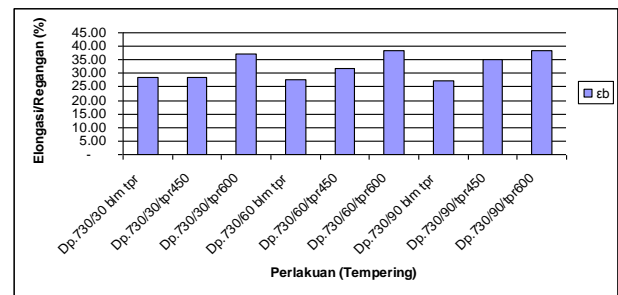
kekerasan tertinggi terletak pada *dual phase* 770°C/90' yaitu 38,00 HRC setelah *tempering* 600°C menjadi 25,00 HRC, dan diikuti berturut-turut *quench* 350°C/15' adalah 31,67 HRC, pendinginan udara 28,5 HRC, dan austemper 27,33 HRC , dan *dual phase* 730°C/30' yaitu 21,00 HRC setelah *tempering* 600°C menjadi 18,33 HRC.

Hasil uji tarik dan kekerasan AISI 1045 dual phase 730°C ditemper 450°C dan 600°C sperti pada d gambar 4.4,4.5,4.5 :



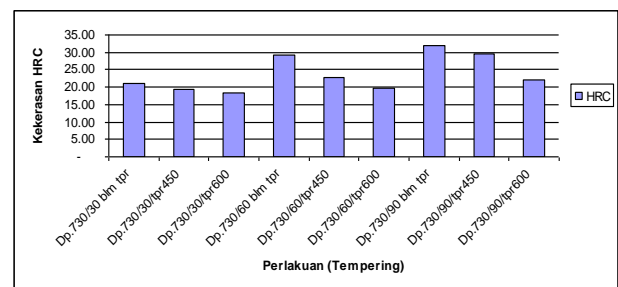
Gambar 14. Kekuatan tarik vs Perlakuan dual phase (Dp 730°C tempering 450°C dan 600°C)

Dari grafik gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semua *dual phase* 730°C/30'; 730°C/60'; 730°C/90' setelah *tempering* kekuatan tarik  $\sigma_u$  mengalami penurunan berkisar 15-30 N/mm<sup>2</sup>, untuk 730°C/30' dari 645,83 menjadi 630,21 dan 614,58 N/mm<sup>2</sup>, untuk 730°C/60' dari 661,46 menjadi 643,23 dan 619,79 N/mm<sup>2</sup> ,untuk 730°C/90' dari 677,08 menjadi 648,44 dan 625,00 N/mm<sup>2</sup> ,sedang untuk  $\sigma_y$  pada *dual phase* 730°C/30' hampir tidak ada perubahan, sedang pada 730°C/60'; 730°C/90' ada terjadi sedikit peningkatan berkisar 30-40 N/mm<sup>2</sup> yaitu dari 348,96 menjadi 408,85 N/mm<sup>2</sup> dan untuk 730°C/90' dari 372,40 menjadi 416,67 N/mm<sup>2</sup> .



Gambar 15. Elongasi/Regangan vs Perlakuan dual phase (Tempering 450°C, 600°C) Dp. 730°C.

Dari grafik gambar 4.5 dapat dilihat bahwa sifat *dual phase* 730°C/30'; 730°C/60'; 730°C/90' setelah *tempering* 450°C dan 600°C Elongasi/Regangan mengalami peningkatan, khususnya pada temperatur *tempering* 600°C peningkatan sangat tinggi yaitu untuk 730°C/30' dari 28,65% menjadi 36,98%, untuk 730°C/60' dari 27,60% menjadi 38,54% dan untuk 730°C/90' dari 27,08 menjadi 38,54 %.

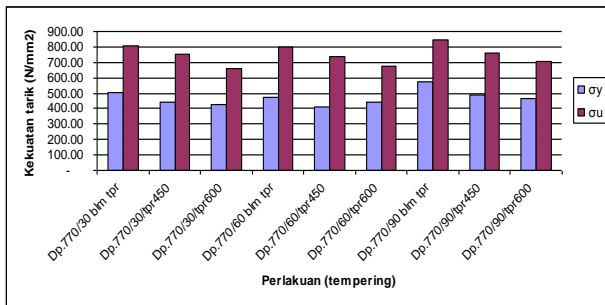


Gambar 16. Kekerasan vs Perlakuan dual phase (Tempering 450°C, 600°C) Dp. 730°C.

Dari grafik gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semua *dual phase* 730°C/30'; 730°C/60'; 730°C/90' setelah *tempering* 450°C , 600°C , semua mengalami penurunan , untuk 730°C/30' penurunan relatif kecil yaitu dari 21,00 menjadi 19,33 dan 18,33 HRC, untuk 730°C/60'; 730°C/90' terjadi penurunan signifikan yaitu dari 29,33 menjadi 22,67 dan 19,67 HRC serta 32,00 menjadi 29,67 dan 22,00 HRC.

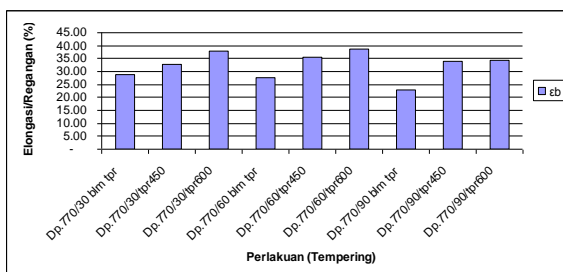
### Pengaruh temperatur Tempering terhadap Kekuatan tarik, Elongasi dan Kekerasan Baja AISI 1045 (Dual phase 770°C)

Hasil uji tarik dan kekerasan AISI 1045 dual phase 770°C ditemper 450°C dan 600°C sperti pada gambar 4.7,4.8 ,4.9 berikut :



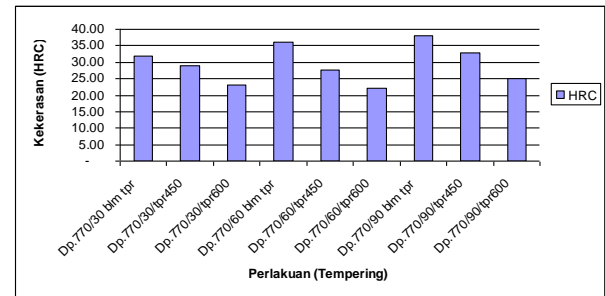
Gambar 17. Kekuatan tarik vs Perlakuan (Tempering 450oC, 600oC) Dp. 770oC.

Dari grafik gambar 4.7 dapat dilihat bahwa sifat *dual phase* 770°C/30'; 770°C/60'; 770°C/90' setelah *tempering* kekuatan tarik  $\sigma_u$  mengalami penurunan yaitu berkisar 50-100 N/mm<sup>2</sup>, untuk 770°C/30' dari 807,29 menjadi 752,60 dan 656,25 N/mm<sup>2</sup>, untuk 770°C/60' dari 802,08 menjadi 736,98 dan 674,48 N/mm<sup>2</sup> untuk 770°C/90' dari 846,35 menjadi 760,42 dan 708,33 N/mm<sup>2</sup>, sedang untuk  $\sigma_y$  pada *dual phase* 770°C/30'; 770°C/60'; 770°C/90' ada terjadi sedikit penurunan, untuk 770°C/30' dari 505,21 menjadi 445,31 dan 424,48 N/mm<sup>2</sup> dan untuk 770°C/60' dari 491,35 menjadi 408,85 dan 442,71 N/mm<sup>2</sup>, serta untuk 770°C/90' dari 570,31 menjadi 416,67 dan 372,40 N/mm<sup>2</sup>.



Gambar 18. Elongasi/Regangan vs Perlakuan (Tempering 450oC, 600oC) Dp. 770oC.

Dari grafik gambar 4.8 dapat dilihat bahwa sifat *dual phase* 770°C/30'; 770°C/60'; 770°C/90' setelah *tempering* 450°C dan 600°C, Elongasi/Regangan mengalami peningkatan, untuk 770°C/30' dari 28,65% menjadi 32,81 dan 38,02 %, untuk 770°C/60' dari 27,60% menjadi 35,42 dan 38,54% dan untuk 770°C/90' dari 22,92 menjadi 33,85 dan 34,38 %.



Gambar 19. Kekerasan vs Perlakuan (Tempering 450oC, 600oC) Dp. 770oC.

Dari grafik gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semua *dual phase* 770°C/30'; 770°C/60'; 770°C/90' setelah *tempering* 450°C dan 600°C semua mengalami penurunan, untuk 770°C/30' dari 32,00 menjadi 29,00 dan 23,00 HRC, sedang untuk 770°C/60' dari 36,00 menjadi 27,67 dan 22,00 HRC; serta untuk 770°C/90' penurunan signifikan yaitu dari 38,00 menjadi 33,00 dan 25,00 HRC

### Pembahasan Hasil Penelitian Perbandingan Sifat Mekanik AISI 1045 Sebelum dan Pasca Forging

Sifat mekanik setelah proses *forging* sangat tergantung dari perlakuan yang diberikan terhadap baja AISI 1045, dari hasil perlakuan pasca *forging* secara keseluruhan, yaitu pendinginan dengan udara, martemper, austemper dan *dual phase* semua menghasilkan peningkatan sifat kekuatan tarik, peningkatan kekerasan dan diikuti penurunan elongasi/ regangan hal tersebut dikarenakan terjadinya perubahan struktur mikro seperti pada gambar 4.1, yang memperlihatkan :

(a) Merupakan struktur mikro AISI 1045 sebelum perlakuan (asli) yaitu memiliki struktur ferit (terang) dan perlit (gelap), memiliki kekuatan tarik dan kekerasan relatif rendah dan elongasi/ regangan yang tinggi.

(b) Struktur mikro pasca *forging* dengan pendinginan udara, memiliki struktur ferit (terang) dan perlit (gelap) sebagai matrik dengan ferit yang muncul seperti duri dipermukaan, memiliki kekuatan tarik, serta kekerasan lebih tinggi dan elongasi/regangan agak rendah.

(c) Struktur mikro pasca *forging* di quench 350°C/15', memiliki struktur mikro martensit (gelap/sisik) sebagai matrik dengan ferit (terang) dan perlit (gelap) memiliki kekuatan tarik relatif

tinggi, serta kekerasan tinggi dan regangan/elongasi agak rendah.

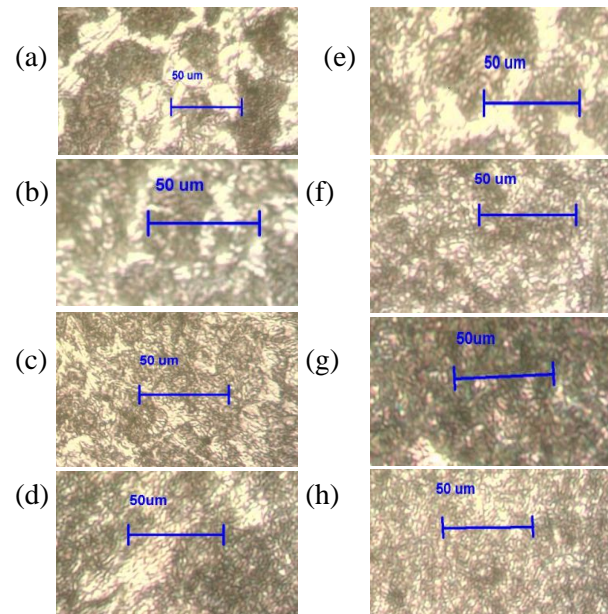
(d) Struktur mikro pasca forging di austemper, memiliki struktur ferit (terang) agak banyak dan bainit + perlit (gelap dan bersisik) banyak, memiliki kekuatan tarik agak tinggi, serta kekerasan tinggi dan elongasi/regangan agak tinggi.

(e) Struktur mikro pasca forging , dual phase 730oC/30' memiliki struktur mikro ferit (terang/putih) banyak dan martensit (agak gelap/sisik)sedikit + perlit (gelap)agak banyak, memiliki kekuatan tarik relatif rendah, serta kekerasan relatif rendah dan elongasi/regangan agak tinggi.

(f) Struktur mikro pasca forging dual phase 730oC/30' ditemper 600oC memiliki struktur mikro (ferit terang/putih) agak banyak, halus merata dan martensit (gelap/sisik) sedikit + perlit (gelap)sedikit, memiliki kekuatan tarik relatif rendah, serta kekerasan relatif rendah dan elongasi/regangan relatif tinggi.

(g) Struktur mikro pasca forging dual phase 770oC/90' memiliki struktur martensit (gelap/sisik) lebih banyak dan ferit (terang/putih) relatif sedikit , memiliki kekuatan tarik sangat tinggi serta kekerasan tinggi dan elongasi/regangan rendah.

(h) Struktur mikro pasca forging dual phase 770oC/90' ditemper 600oC memiliki struktur martensit (gelap/sisik) sedikit berkurang,halus, merata dan ferit (terang/putih) , memiliki kekuatan tarik tinggi serta kekerasan agak rendah dan elongasi/regangan cukup tinggi.



Gambar 20 . Foto struktur mikro AISI 1045 sebelum dan pasca Forging (pembesaran pemotretan 1500x)

**Keterangan gambar :**

- a. AISI 1045 tanpa perlakuan, b. Forging pendinginan udara, c. Forging quench 350°C/15', d. Forging austemper 350°C/30', e. Dual phase 730°C , f. Dual phase 730°C/tpr 600°C, g. Dual phase 770°C, h. Dual phase 730°C/tpr 600°C.

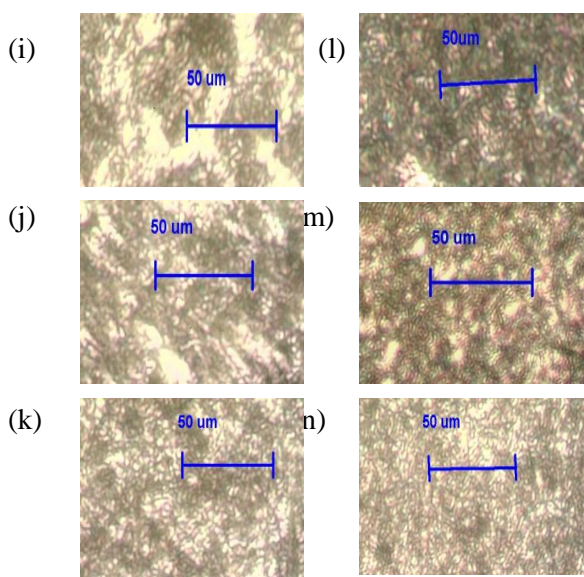
**Sifat Mekanik Baja AISI 1045 (Dual phase 730°C dan 770°C) setelah ditemper 450°C dan 600°C.**

Sifat mekanik dual phase 730°C dan 770°C setelah ditemper pada 450°C/30' dan 600°C/30' terlihat pada grafik (gambar 4.4, 4.5, 4.6, dan 4.7, 4.8, serta 4.9), yaitu pada dual phase 730°C, sedikit ada penurunan kekuatan tarik dengan adanya pertambahan temperatur tempering dan diikuti naiknya regangan / elongasi dan penurunan kekerasan, untuk dual phase 770°C terlihat bahwa dengan bertambahnya temperatur tempering kekuatan tarik menurun lebih besar dan diikuti kenaikan regangan/elongasi dan penurunan kekerasan juga besar.

Gambar 4.2 e , f , dan g , merupakan foto struktur mikro dual phase sebelum dan pasca tempering untuk baja dual phase 730°C/30' ditemper 450°C/30' dan 600°C/30', sebelum ditemper (e) terlihat struktur Dual phase 730°C mempunyai struktur mikro ferit (putih/terang) banyak, perlit (gelap) banyak dan martensit (agak gelap/sisik)



sedikit, setelah ditemper 450°C (f) dan ditemper 600°C(g) struktur terlihat semakin halus dan semakin merata sehingga penurunan kekuatan tarik dan kekerasan serta naiknya elongasi relatif sedikit. Untuk *dual phase* 770°C, sebelum ditemper (h) terlihat struktur *Dual phase* 770°C mempunyai struktur mikro ferit (putih/terang) sedikit, perlit (gelap) sedikit dan martensit (agak gelap/sisik) banyak, setelah ditemper 450°C (i) dan ditemper 600°C (j) struktur terlihat setruktur martensit sedikit berkurang, semakin halus dan semakin merata sehingga penurunan kekuatan tarik dan kekerasan serta naiknya elongasi relatif besar



**Gambar 21.** Struktur *dual phase* sebelum/setelah ditemper 450°C dan 600°C (pembesaran pemotretan 1500x).  
i. *Dual phase* 730°C, j. *Dual phase* 730°C/tpr 450°C, k. *Dual phase* 730°C/tpr 600°C.  
l. *Dual phase* 770°C, m. *Dual phase* 770°C/tpr 450°C, n. *Dual phase* 770°C/tpr 600°C

#### 4. PENUTUP

Dari uraian pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Sifat mekanik kekuatan tarik dan kekerasan *dual phase* AISI 1045 setelah proses tempa secara keseluruhan meningkat dan diikuti elongasi/regangan menurun, kekuatan tarik dan kekerasan maksimum terletak pada *dual phase* 770°C/90' yaitu  $\sigma_u = 846,35 \text{ N/mm}^2$  dan  $\sigma_y = 570,31 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan = 38 HRC dan elongasi/regangan  $\epsilon = 22,92\%$ . dan terendah pada *dual phase* 730°C/30' yaitu  $\sigma_u = 645,83 \text{ N/mm}^2$  dan  $\sigma_y = 359,38 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan = 21,00 HRC dan elongasi/regangan  $\epsilon = 28,65\%$ , sedang AISI 1045 Tanpa perlakuan

mempunyai kekuatan tarik  $\sigma_u = 611,98 \text{ N/mm}^2$  dan  $\sigma_y = 359,38 \text{ N/mm}^2$ , kekerasan = 21,00 HRC dan  $\epsilon_t = 32,29\%$ .

2. Setelah proses *tempering* 450°C/30' dan 600°C/30', sifat mekanik *dual phase* AISI 1045 secara keseluruhan kekuatan tarik dan kekerasan sedikit menurun dan diikuti elongasi/regangan meningkat, sifat mekanik maksimum diperoleh :
  - Kekuatan tarik tertinggi : diperoleh dari *dual phase* 770°C/90' ditemper 450°C/30' yaitu  $\sigma_u = 760,42 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y = 486,98 \text{ N/mm}^2$ .
  - Kekerasan tertinggi : diperoleh dari *dual phase* 770°C/90' ditemper 450°C/30' yaitu kekerasan = 38,54 HRC.
  - Elongasi tertinggi : diperoleh dari *dual phase* 770°C/60' ditemper 600°C yaitu  $\epsilon = 38,54\%$ .

Untuk penyempurnaan dan kelanjutan penelitian ini dimasa mendatang agar menghasilkan sifat mekanik *Dual phase* pasca forging yang optimal, penulis memberi saran-saran sebagai berikut.

1. Penentuan temperatur *dual phase* untuk baja karbon medium/ sedang sebaiknya pada temperatur sekitar 770°C, karena pada temperatur 730°C tidak optimal.
2. Pembebanan sebaiknya menggunakan mesin pres untuk menjamin kecepatan proses tempa dan keseragaman.

#### 5. PUSTAKA

- [1] Dr. Amin D. Thamir, Dr. Mohammed H. Hafiz, & Mahdi Mutar Hanoon, (2010). *Study of the Mechanical Properties by Using Thermomechanical Processing of Alloy Steel*, University of Technology, Baghdad, Journal,
- [2] E.J. Bradbury, (1991). *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [3] Herman W Pollack, (1991). *Material Science and Metalurgy*, 4<sup>th</sup> edition, Reston Publishing Company, Inc, Reston Virginia.
- [4] J. Lis, A. K. Lis and C. Kolan, (2005). *Processing and Properties of C-Mn Steel with Dual Phase Micro Structure*, Institute of

- Material Engineering, Czestochova University of Technology, Poland, Journal.
- [5] J. Adamczyk, M.Opiela, *Engineering of forged products of microalloyed constructional steels*, Institute of Engineering Materials and Biomaterials, Silesian University of Technology, Poland, Journal, 2006.
- [6] Karl-erik Thelning, (1994). *Steel and Its Heat Treatment*, Second edition, Butterworth & Co, London, Boston
- [7] M. Dzubon, L. Parilak, M. Kollava, I Sinaiova, (2007). *Dual Phase Ferrit – Martensit Steel Micro Alloy V – Nb*, Institute of Materials Research of Slovak Academy of Science, Slovakia, Journal
- [8] RE. Smollman, (1985) *Modern Physical Metallurgy*, Fourth edition, Butter Worth & Co, London, Boston.
- [9] Sidney H. Avner, (1994). *Introduction to Physical Metallurgy*, 4<sup>th</sup> edition, MC. Growhills Book Company, New York, 1994.
- [10] V.B. John, (1983). *Introduction to Engineering Materials*, Second Edition, Mac. Millan Publishing Company, New York
- [11] Wahid Suherman, (1990). Ir, *Perlakuan Panas*, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- [11] William F. Hosford and Robbert M. Caddell (1993). *Metal Forming*, Second Edition, University of Michigan AM Arbor, Michigan,