

## KARAKTERISASI LOGAM PADUAN FeNiCr HASIL PELEBURAN MENGUNAKAN TUNGKU BUSUR LISTRIK PADA BERBAGAI KOMPOSISI PADUAN

Saeful Hidayat, Guntur D. S.

Puslitbang Teknik Nuklir -BATAN Jl.Tamansari 71 Bandung

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI LOGAM PADUAN FeNiCr HASIL PELEBURAN MENGGUNAKAN TUNGKU BUSUR LISTRIK PADA BERBAGAI KOMPOSISI PADUAN.** Telah dilakukan pembuatan logam paduan FeNiCr berbentuk ingot kancing dengan cara peleburan menggunakan tungku busur listrik. Paduan dibuat pada dua kombinasi komposisi persen berat, yaitu pada komposisi persen berat Fe yang tetap (50 %) dengan Ni dan Cr bervariasi dan persen berat Ni yang tetap (50 %) dengan Fe dan Cr bervariasi. Persen berat Cr divariasikan mulai dari 10% sampai dengan 40 % dengan rentang 5 %. Karakterisasi logam paduan dilakukan dengan mengukur angka kekerasan dan memeriksa struktur mikro yang terbentuk pada setiap persen komposisi paduan sebelum dan setelah proses perlakuan panas dilakukan. Dari hasil pengujian kekerasan, angka kekerasan logam paduan naik dengan naiknya jumlah kandungan Cr pada komposisi persen Ni tetap dan Fe tetap. Logam paduan dengan komposisi persen Ni tetap mempunyai kekerasan 10 % lebih tinggi dibanding dengan logam paduan yang mempunyai komposisi persen Fe tetap untuk komposisi persen Cr di bawah 25 %, sedangkan untuk komposisi persen Cr di atas 25 % , logam paduan dengan komposisi persen Fe tetap mempunyai kekerasan mencapai di atas 100 % lebih tinggi dari pada logam paduan pada komposisi persen Ni yang tetap. Proses perlakuan panas pada temperatur 1400<sup>0</sup>C selama 1 jam menurunkan angka kekerasan logam paduan maksimum 15 % untuk semua komposisi paduan. Struktur mikro yang terbentuk pada logam paduan hasil peleburan berbentuk struktur butir *equiaxial* dan butir *columnar* yang mengandung struktur *dendrite* dan inti di dalam butir. Setelah mengalami proses perlakuan panas mempunyai struktur butir berbentuk *columnar* , dan *equiaxial* yang mengandung *twin anil*.

**Kata kunci :** logam paduan, FeNiCr, struktur mikro, kekerasan

### ABSTRACT

**FeNiCr CAST METAL ALLOY CHARACTERIZATION FROM SMELTING ARC FURNACE WITH DIFFERENT COMPOSITION.** The production of the button ingot FeNiCr cast metal alloy by electric arc furnace has been



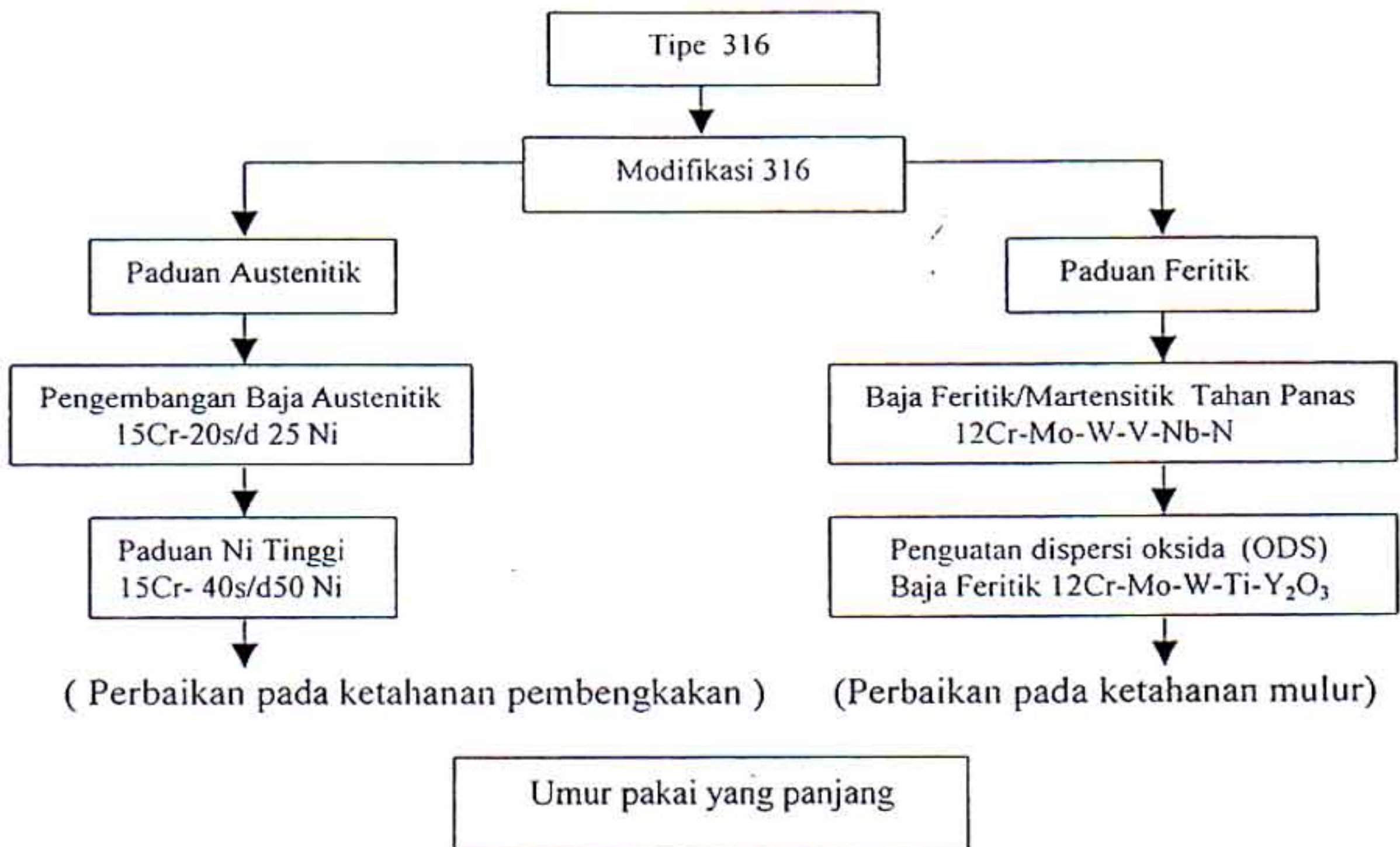
done. The alloy was made at two combination weight percent composition, those are at fix weight percent Fe (50%) and at fix weight percent Ni (50%) with different Ni and Cr content. The Cr weight percent was varied from 10 % until 40 % at 5 % range. The metal alloy characterization was done before and after heat treatment by the measure of the hardness number and the shape of the microstructure examination. From the hardness test result, the hardness number of the metal alloy increase with the higher Cr content at the fix weight percent Fe composition or at the fix weight percent Ni composition. The hardness number of the metal alloy at the fix percent Ni composition is 10 % higher than the metal alloy at the fix percent Fe for Cr composition under 25 % percent. While for more than 25 % Cr composition, the metal alloy at the fix weight percent Fe composition had 100 % hardness number higher than the fix weight percent Ni composition. The heat treatment of the metal alloy at 1400 °C for 1 hour reduce the hardness number until 15 % maximum for all alloy composition. The microstructure of the cast metal alloy were equiaxial and columnar structure with dendrite and core in grain. After heat treatment the microstructure of the alloy were columnar and equiaxial with contain twin anil.

**Key words** : metal alloy, FeNiCr, microstructure, hardness.

## PENDAHULUAN

Di pasaran dunia dikenal beberapa paduan dengan bahan dasar Fe dan Ni ditambah dengan beberapa unsur pepadu, di antaranya Cr, Al, dan lain-lain, yang dikenal dengan nama *Stainless Steel* dan *Superalloy* [1]. Salah satu paduan dengan bahan dasar unsur Fe dan Ni dalam industri nuklir adalah *Stainless Steel* 316. Bahan ini digunakan untuk pipa kelongsong bahan bakar reaktor pembiak cepat, karena baja tersebut mempunyai sifat mekanik yang baik pada temperatur tinggi, mudah dipabrikasi, dan mempunyai ketahanan korosi yang baik [2]. Pada peralatan energi seperti sudu-sudu turbin uap dan nozel burner digunakan *Superalloy* karena ketahanannya pada suhu tinggi [1]. Untuk memperbaiki unjuk kerja paduan yang telah ada, pengembangan paduan dengan bahan dasar Fe dan Ni sampai saat ini masih terus dilakukan. Pada Gambar 1 diperlihatkan diagram alir pengembangan baja tahan karat [3].





Gambar 1. Diagram alir pengembangan baja tahan karat [3]

Bahan Fe dan Ni dapat diandalkan dalam suatu paduan, karena Fe dengan titik leleh  $1535^{\circ}\text{C}$  tahan untuk dioperasikan pada suhu  $750^{\circ}\text{C}$  pada pembebanan  $10000\text{ kN/cm}^2$  dan Ni dengan titik leleh  $1450^{\circ}\text{C}$  dapat dioperasikan sampai suhu  $1050^{\circ}\text{C}$  [1]. Unsur Fe dan Ni di dalam suatu paduan FeNiCr merupakan unsur penguat berbentuk larutan padat. Selain itu Ni juga merupakan unsur yang akan meningkatkan ketahanan paduan pada *Cyclic oxidation* [4]. Unsur Cr di dalam suatu paduan FeNiCr merupakan unsur pemadu yang meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan khrom oksida dan merupakan unsur penguat berbentuk larutan padat [4]. Paduan FeNiCr berdasarkan struktur metalurginya, bisa berbentuk *feritik*, *martensitik* atau *austenitik*, bergantung persen komposisinya dan unsur pemadu lain yang dimasukkan. Fase ferit



bersifat lunak, lemah dan liat pada suhu tinggi, martensit tidak stabil, sedangkan austenit kuat dan relatif kokoh [5].

Dalam rangka penelitian dan pengembangan pembuatan paduan tersebut, maka sebagai tahap penelitian dasar dicoba dibuat paduan dengan bahan dan peralatan yang tersedia saat ini di lab. P3TKN-BATAN . Berdasarkan sifat yang telah kita ketahui pada kekuatan masing-masing unsur pada temperatur tinggi, dan perannya dalam suatu paduan, maka dengan mencoba memadukan ketiga unsur ini pada berbagai komposisi, diharapkan dapat mengetahui data sifat paduan yang dibuat berdasarkan persen unsur yang dipadukan bila dibandingkan dengan sifat bahan dasarnya. Untuk tahap awal karakterisasi bahan paduan, dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro.

## **TATA KERJA**

Pembuatan paduan FeNiCr dilakukan menggunakan Tungku busur listrik dengan gas pelindung argon diperoleh hasil peleburan berupa ingot kancing. Komposisi paduan dibuat berdasarkan persen berat paduan dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi persen berat paduan untuk persen berat Fe tetap 50 %.

Nomor	Fe (% berat)	Ni (% berat)	Cr (% berat)
1	50	40	10
2	50	35	15
3	50	30	20
4	50	25	25
5	50	20	30
6	50	15	35
7	50	10	40

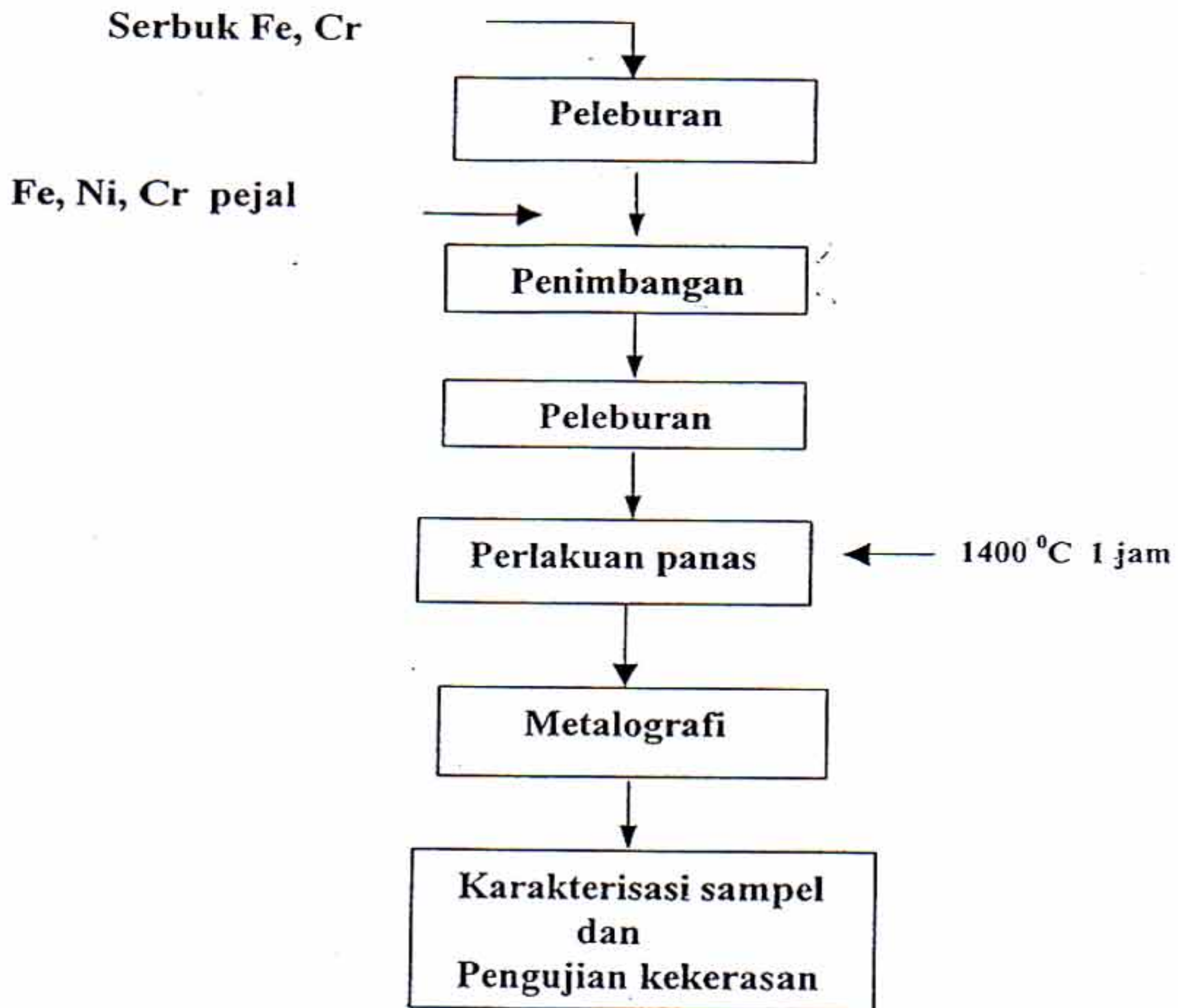


Tabel 2. Komposisi persen berat paduan untuk persen berat Ni tetap 50%.

Nomor	Ni (% berat)	Fe (% berat)	Cr (% berat)
1	50	40	10
2	50	35	15
3	50	30	20
4	50	25	25
5	50	20	30
6	50	15	35
7	50	10	40

Bahan yang tersedia untuk pembuatan paduan ini berbentuk serbuk untuk unsur Fe dan Cr, sedangkan Ni berbentuk potongan masif. Untuk memudahkan proses peleburan dan mengurangi hilangnya persen berat unsur pada saat pembuatan paduan, serbuk Fe dan Cr masing-masing dilebur untuk mendapatkan bentuk bahan yang masif, selanjutnya masing-masing bahan ditimbang sesuai dengan persen komposisi paduan yang akan dibuat. Setiap paduan dibuat empat paduan, masing-masing diperlukan untuk proses karakterisasi selanjutnya. Logam paduan yang dihasilkan dipreparasi untuk pemeriksaan struktur mikro, kekerasan dan proses perlakuan panas. Perlakuan panas dilakukan pada suhu  $1400^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam dengan pendinginan tungku. Diagram alir percobaan diperlihatkan pada Gambar 2.





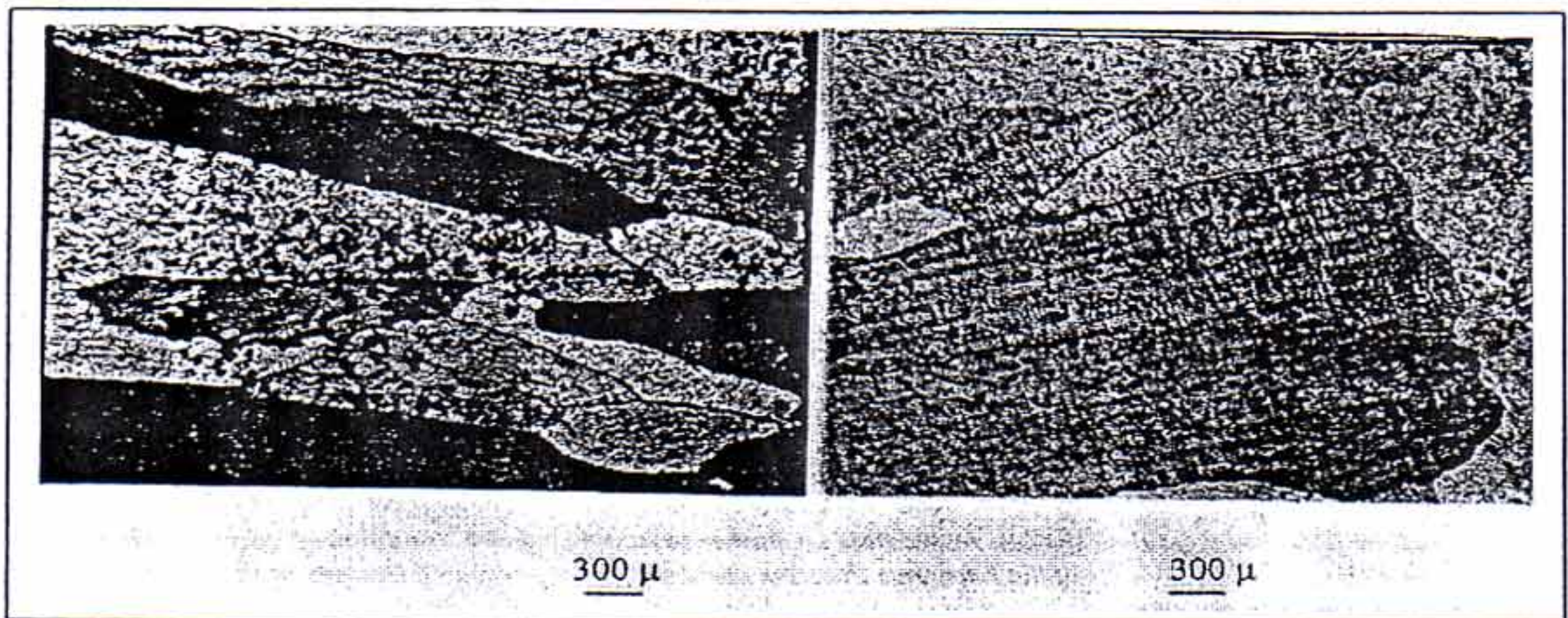
Gambar 2. Diagram alir percobaan

Preparasi bahan untuk uji metalografi dilakukan dengan proses pengampelasan menggunakan ampelas *grade* 220, 320, 600, 1000, 1500, 2400 dan *polishing* menggunakan serbuk *abrasive*  $Al_2O_3$ , dan proses *etching* menggunakan larutan etsa *Villela's*. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan uji kekerasan Vickers.



## HASIL DAN PEMBAHASAN

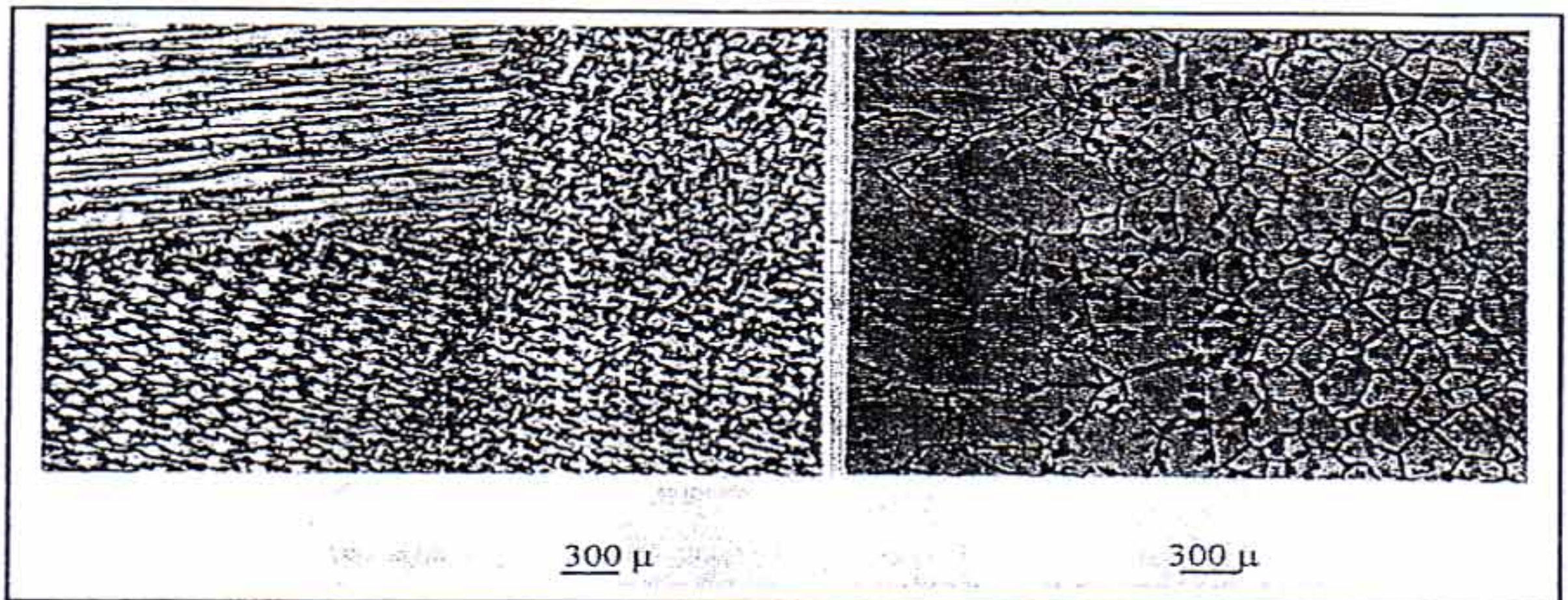
Proses pemaduan dengan cara peleburan menggunakan tungku busur listrik menghasilkan ingot berbentuk kancing. Struktur mikro logam paduan hasil peleburan untuk komposisi persen berat Fe tetap (50%) diperlihatkan pada Gambar 3(a) s/d 3(d) dan untuk paduan logam dengan komposisi persen berat Ni tetap (50%) diperlihatkan pada Gambar 4(a) s/d 4(d). Gambar 3(a) s/d 3(c) dan Gambar 4(a) s/d 4 (c) memperlihatkan bentuk struktur yang sejenis yaitu struktur dengan butir yang *columnar* (memanjang) dan di dalam butir tersebut terdapat struktur *dendrite* (berbentuk cabang daun) dan inti (berbentuk plat jarum). Struktur *dendrite* cenderung tumbuh pada daerah atas ingot, sedangkan struktur inti pada daerah tengah ingot. Gambar 3(d) dan 4(d) memperlihatkan bentuk struktur dengan butir *equiaxial* pada daerah atas ingot dan *columnar* pada daerah tengah tanpa struktur lain di dalamnya.



(a)

(b)

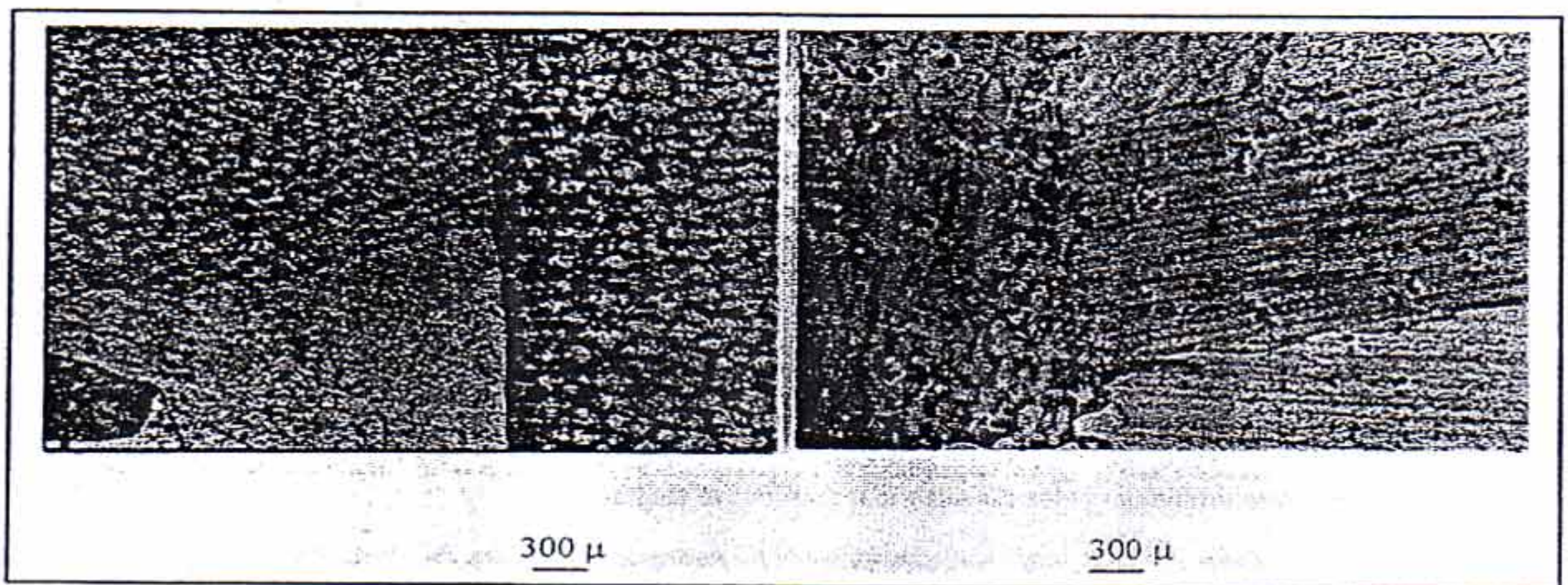




(c)

(d)

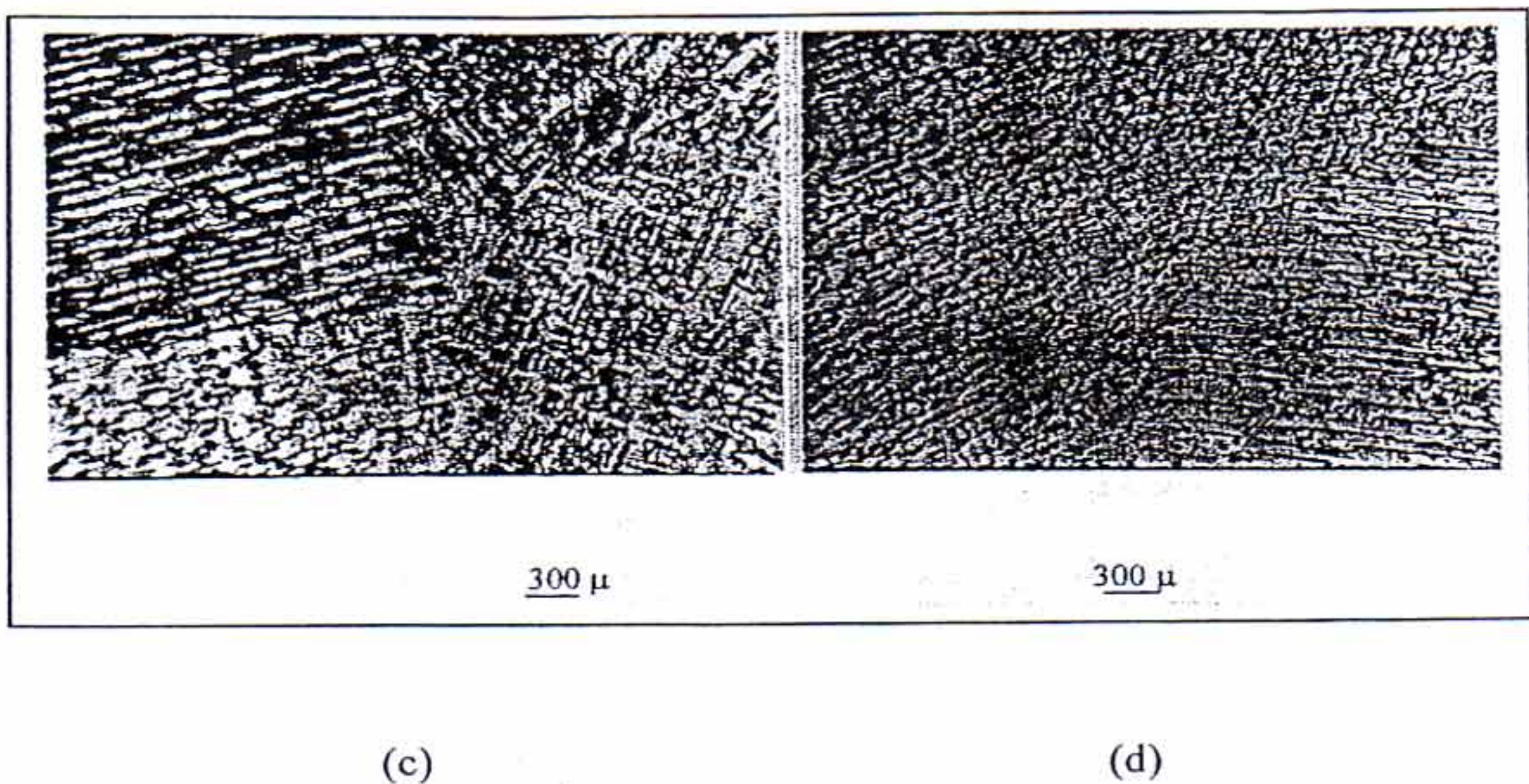
Gambar 3. Struktur mikro logam paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Fe tetap (50%) dengan Ni dan Cr bervariasi, (a). 50 % Fe, 40 % Ni, 10 % Cr, (b). 50% Fe, 35 % Ni, 15 % Cr, (c). 50 % Fe, 25 % Ni, 25 % Cr, (d). 50 % Fe, 10 % Ni, 40 % Cr.



(a)

(b)

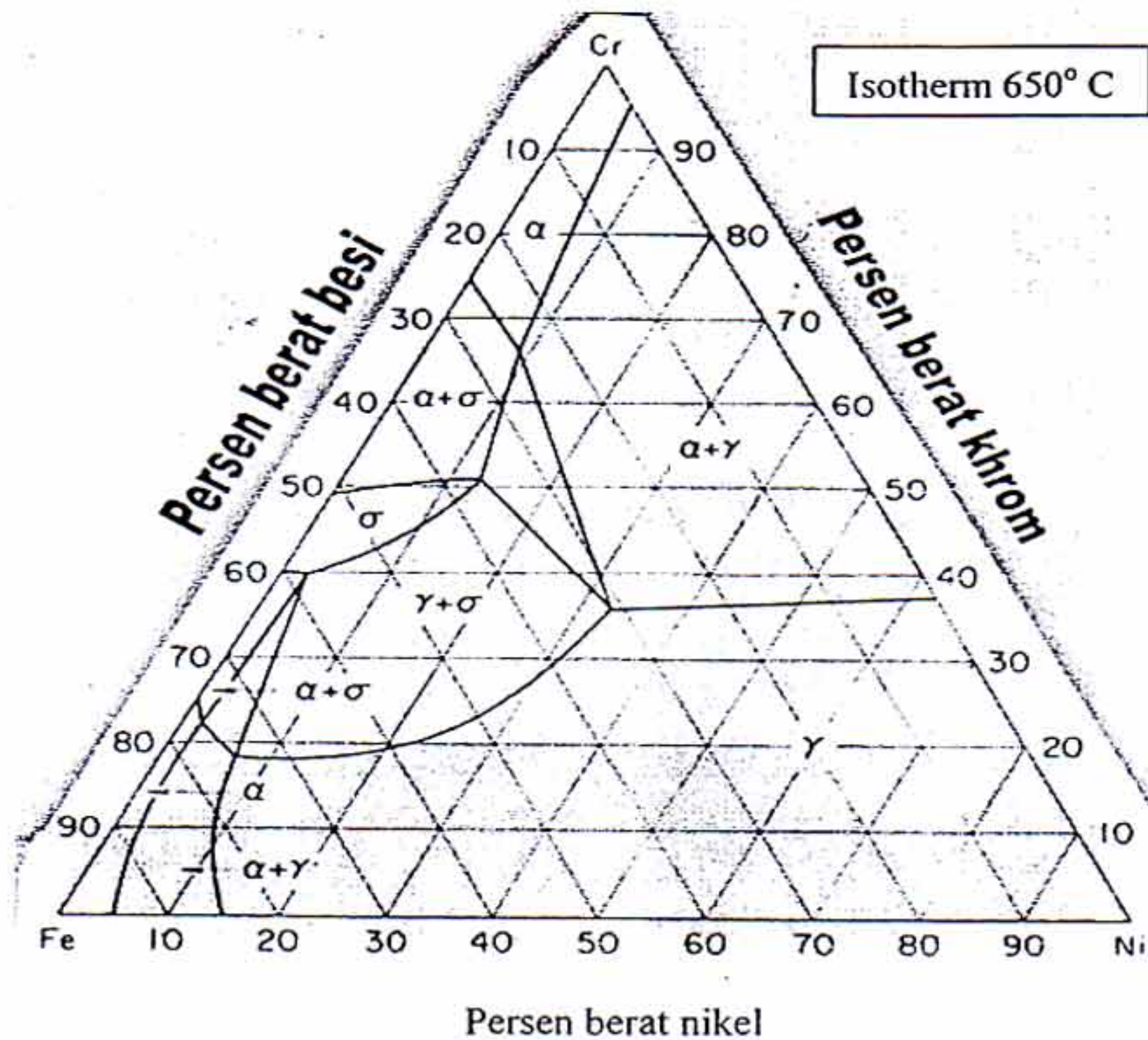




Gambar 4. Struktur mikro logam paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Ni tetap (50%) dengan Fe dan Cr bervariasi, (a). 50 % Ni, 40 % Fe, 10 % Cr, (b). 50% Ni, 35 % Fe, 15 % Cr, (c). 50 % Ni, 25 % Fe, 25 % Cr, (d). 50 % Ni, 10 % Fe, 40 % Cr.

Paduan FeNiCr berdasarkan persen komposisi yang diperlihatkan pada diagram Ternern Cr-Fe-Ni pada Gambar 6 adalah *austenit*, ferit dan sigma. Fase yang terbentuk pada logam-logam paduan hasil peleburan tersebut diperkirakan belum sesuai dengan fase akhir yang seharusnya terbentuk sesuai dengan persen komposisi paduan yang dikandungnya. Logam paduan berdasar bentuk struktur tersebut diduga mempunyai Fase *austenit* yang berada pada struktur *dendrite* dan inti, sedangkan fase ferit dan sigma berada di antara *dendrite-dendrite* dan inti-inti.





Gambar 5. Diagram fase terner Cr-Fe-Ni [6].

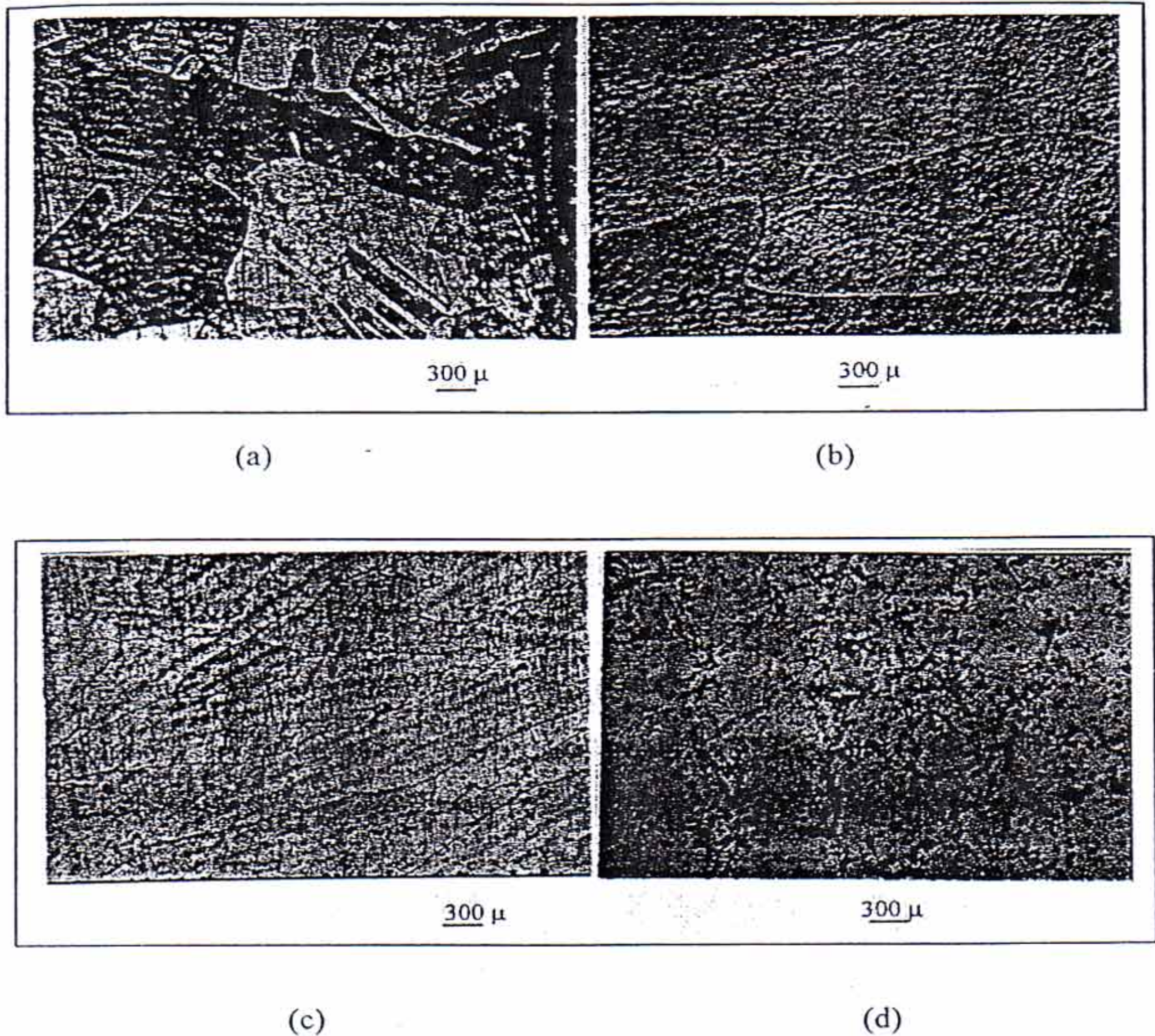
Adanya bentuk struktur yang berbeda dalam satu bahan paduan yang sama, diduga sebagai akibat dari proses pembekuan yang berbeda antara permukaan ingot dengan bagian dalam ingot yang terjadi pada saat pembekuan logam cair menjadi logam beku. Keadaan tersebut dapat dijelaskan bahwa proses pembekuan logam berhubungan dengan proses difusi larutan dalam cairan ke suatu proses pembekuan antar muka (*solid/liquid*), dan proses difusi tersebut memerlukan kondisi aliran panas yang sesuai. Apabila aliran panas lebih cepat dibanding aliran panas pada proses difusi yang normal, contohnya pada laju pembekuan yang cepat, maka akan mengarah ke



pembekuan *dendrities* [4]. Dengan demikian, diduga timbulnya struktur *dendrite* pada logam paduan hasil peleburan ini disebabkan adanya aliran panas yang terlalu cepat pada saat proses pembekuan, terutama pada daerah permukaan ingot. Mekanisme pertumbuhan struktur ini terjadi dari kristal -kristal *dendrite* yang tumbuh dari inti-inti, dan pada saat pembekuan berakhir *dendrite-dendrite* tersebut saling bertemu [5]. Sedangkan struktur inti yang ada pada paduan tersebut terbentuk pada saat proses pembekuan logam dari sisi luar ingot ke arah bagian dalam ingot, seperti terlihat dari arah orientasi struktur tersebut. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada logam paduan hasil peleburan dimaksudkan sebagai proses homogenisasi untuk mendapatkan struktur yang sesuai.

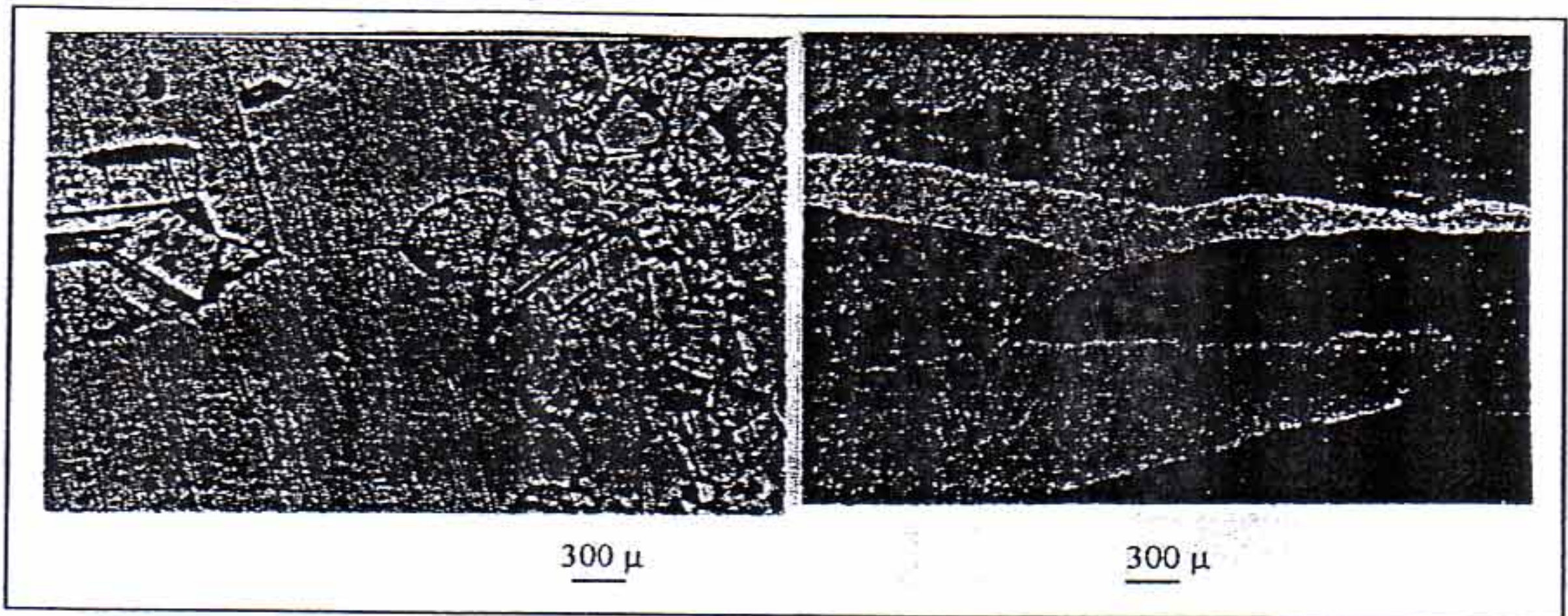
Struktur mikro logam paduan hasil perlakuan panas untuk paduan dengan komposisi persen Fe tetap (50%) diperlihatkan pada Gambar 6(a) s/d 6(d) dan untuk komposisi persen Ni tetap (50%) diperlihatkan pada Gambar 7(a) s/d 7(d). Dari gambar-gambar tersebut terlihat adanya perubahan bentuk struktur pada logam paduan yang telah mengalami perlakuan panas dibandingkan dengan sebelumnya. Struktur *dendrite* dan inti cenderung menghilang, dan bentuk struktur butir *columnar* lebih jelas. Pada Gambar 6(a) dan 7(a) terlihat bentuk struktur butir *equiaxial* dan terdapat *twin anil*, sedangkan fasenya adalah *austenit*. Pada gambar terlihat adanya perbedaan warna yang timbul pada struktur butir, hal ini disebabkan adanya perbedaan orientasi butir yang menyebabkan timbulnya perbedaan cahaya yang dipantulkan.





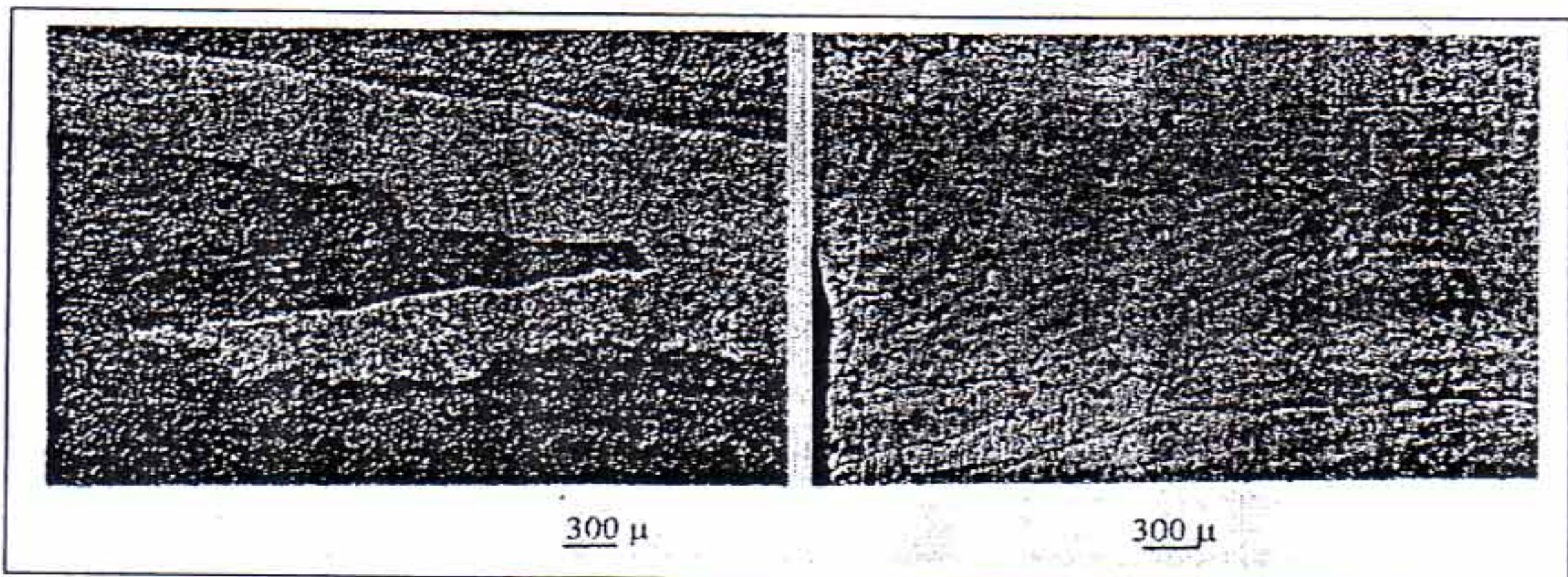
Gambar 6. Struktur mikro logam paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Ni tetap (50%) dengan Fe dan Cr bervariasi setelah perlakuan panas , (a). 50 % Ni, 40 % Fe, 10 % Cr , (b). 50% Ni, 35 % Fe, 15 % Cr, (c). 50 % Ni, 25 % Fe, 25 % Cr, (d). 50 % Ni, 10 % Fe, 40 % Cr.





(a)

(b)



(c)

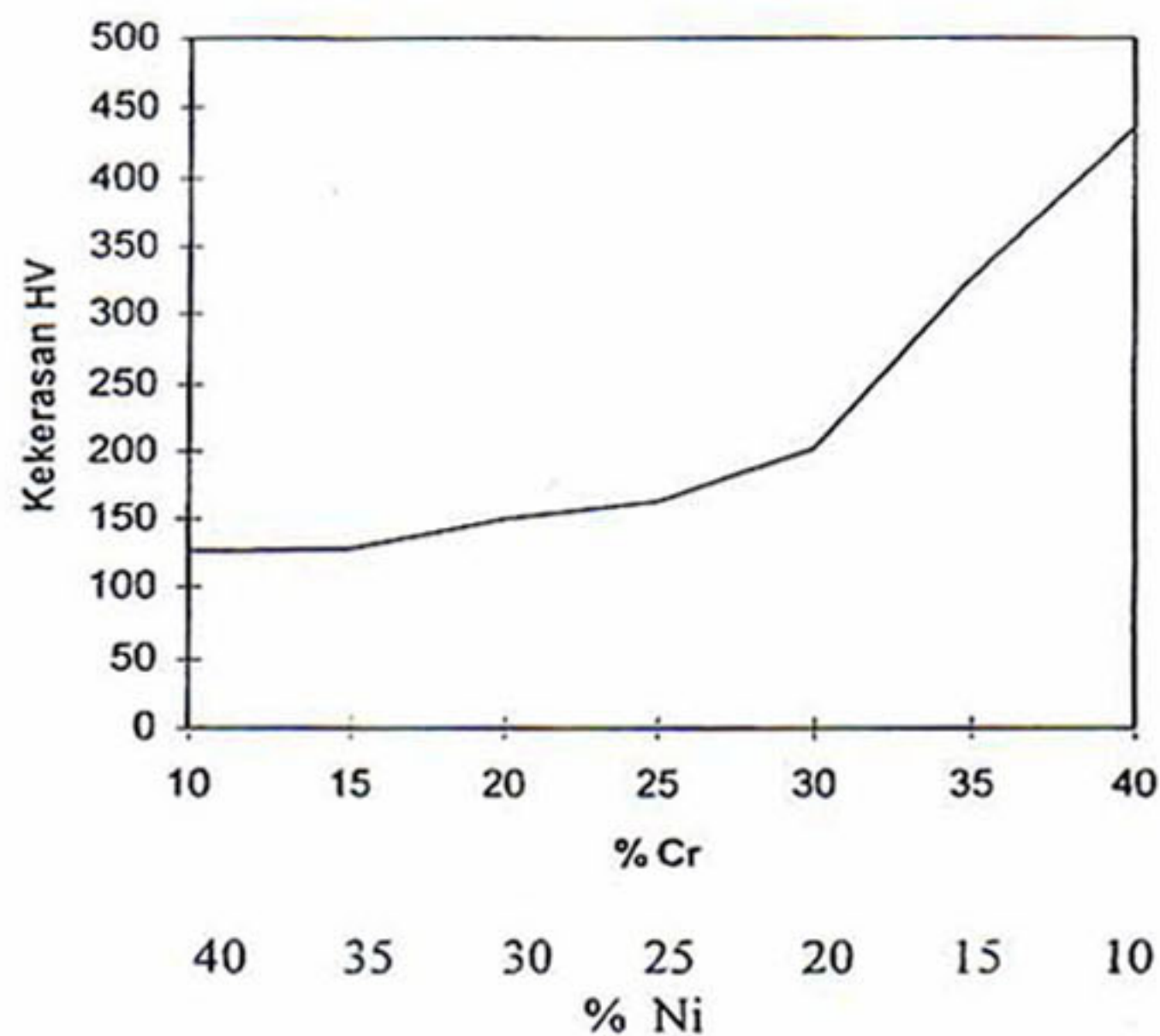
(d)

Gambar 7. Struktur mikro logam paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Ni tetap (50%) dengan Fe dan Cr bervariasi setelah perlakuan panas, (a). 50 % Ni, 40 % Fe, 10 % Cr, (b). 50% Ni, 35 % Fe, 15 % Cr, (c). 50 % Ni, 25 % Fe, 25 % Cr, (d). 50 % Ni, 10 % Fe, 40 % Cr.

Dari hasil pemeriksaan kekerasan, logam paduan mempunyai kekerasan yang jauh lebih tinggi dibanding kekerasan bahan dasar Fe (104 HV.) untuk semua

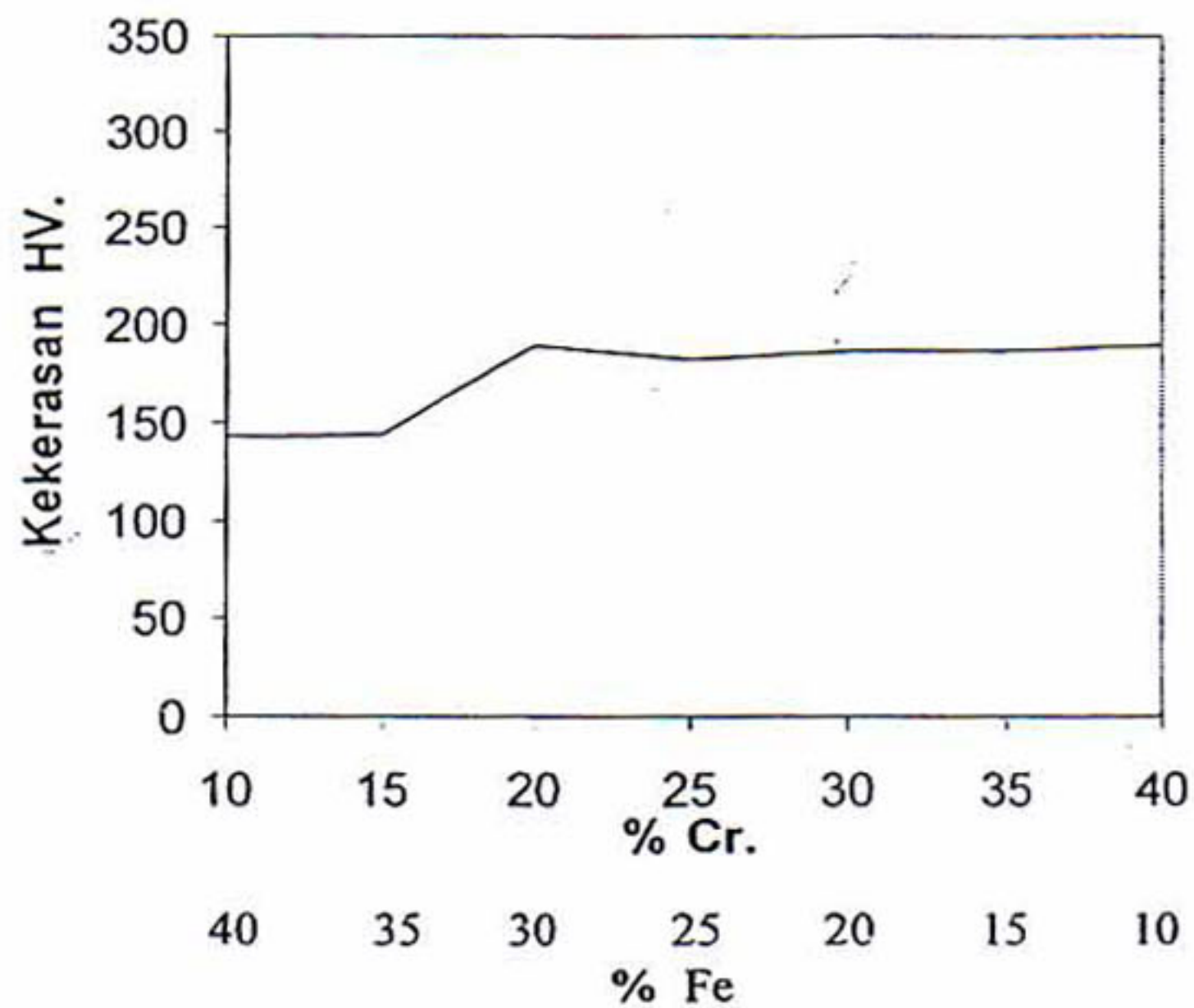


komposisi paduan. Sedangkan bila dibandingkan dengan kekerasan bahan dasar Ni (208 HV.), paduan mempunyai kekerasan yang lebih rendah pada kedua kombinasi komposisi paduan, dan baru mempunyai kekerasan yang lebih tinggi pada kombinasi % Fe tetap (50%) dengan % Cr di atas 25 %. Grafik kekerasan paduan meningkat dengan makin besar kandungan khrom untuk kedua kombinasi persen berat paduan yang dibuat. Grafik kenaikan kekerasan paduan untuk masing-masing kombinasi persen berat paduan, diperlihatkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Grafik kekerasan paduan logam FeNiCr pada kandungan 50% berat Fe.

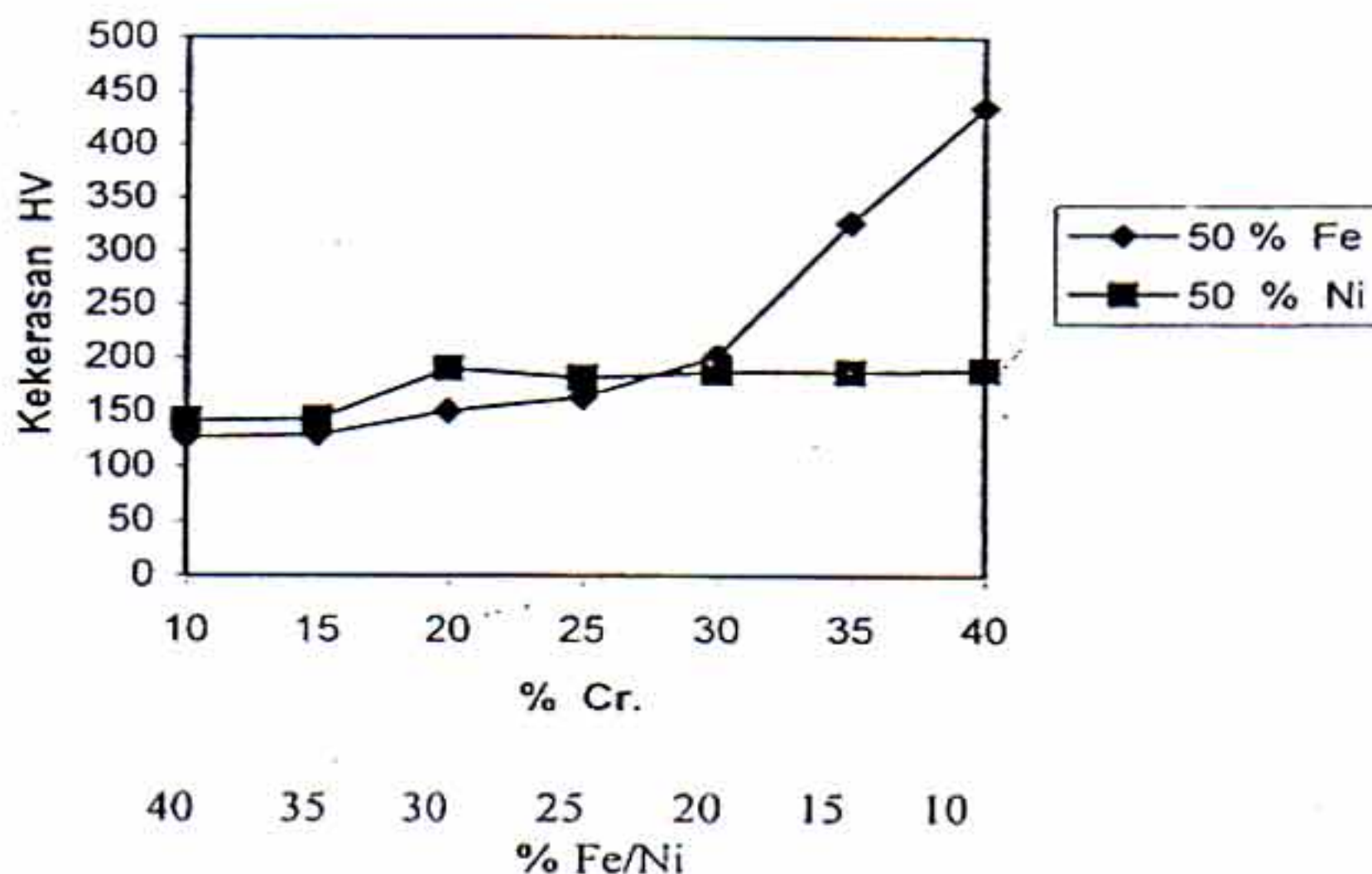




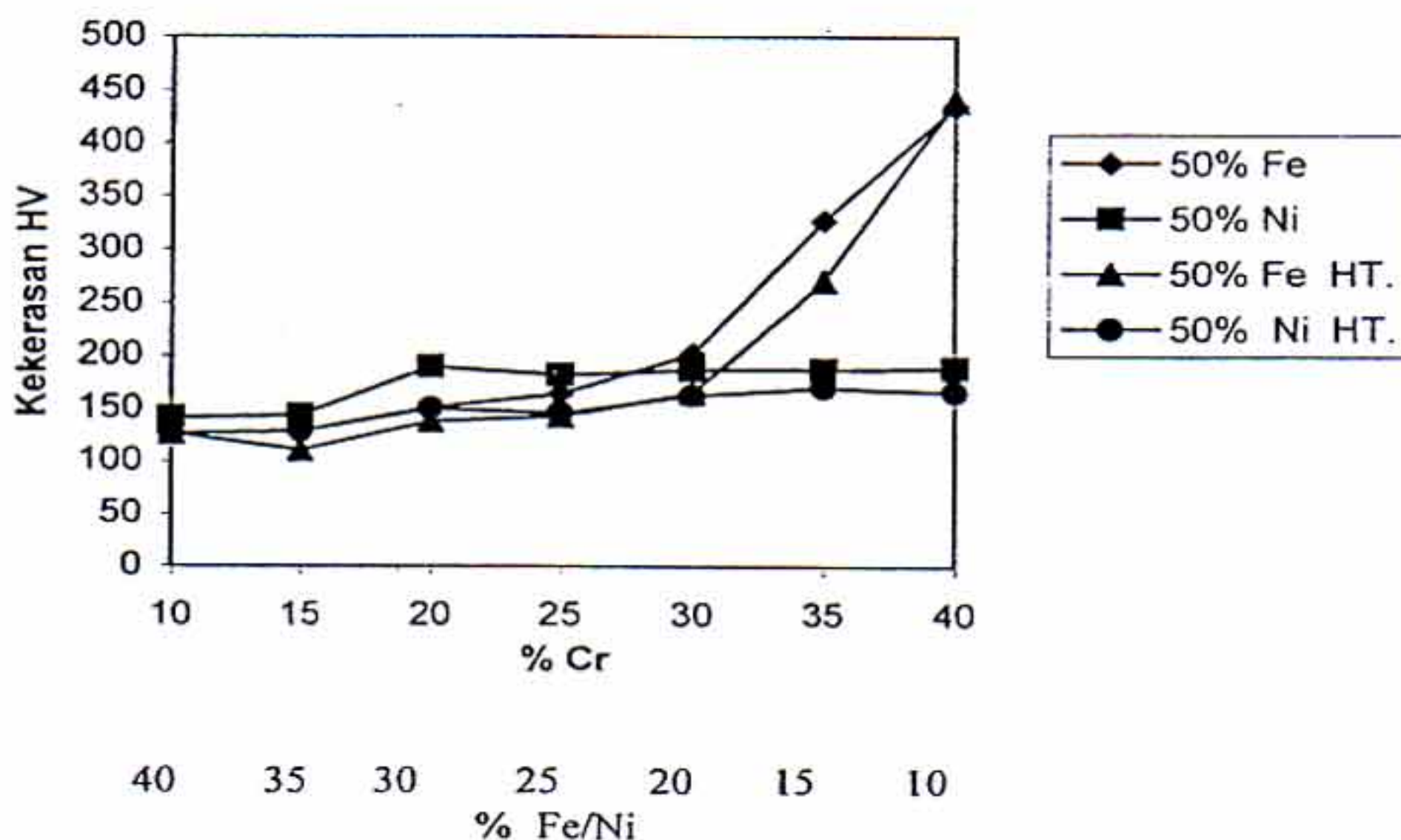
Gambar 9. Grafik kekerasan paduan FeNiCr pada kandungan 50% berat Ni.

Dengan melihat Gambar 8 dan 9, terlihat bahwa pengaruh penambahan unsur Cr dapat meningkatkan kekerasan paduan bila dibandingkan dengan kekerasan bahan dasar Fe dan Ni untuk paduan dengan kombinasi kandungan % Fe tetap sebesar 50%. Sedangkan pada kombinasi kandungan % Ni tetap sebesar 50 %, unsur Cr tidak dapat meningkatkan kekerasan paduan.





Gambar 10. Grafik perbandingan kekerasan paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Fe tetap (50%) dan Ni tetap (50%).



Gambar 11. Grafik perbandingan kekerasan paduan FeNiCr pada komposisi persen berat Fe tetap (50%) dan Ni tetap (50%) sebelum dan setelah perlakuan panas.

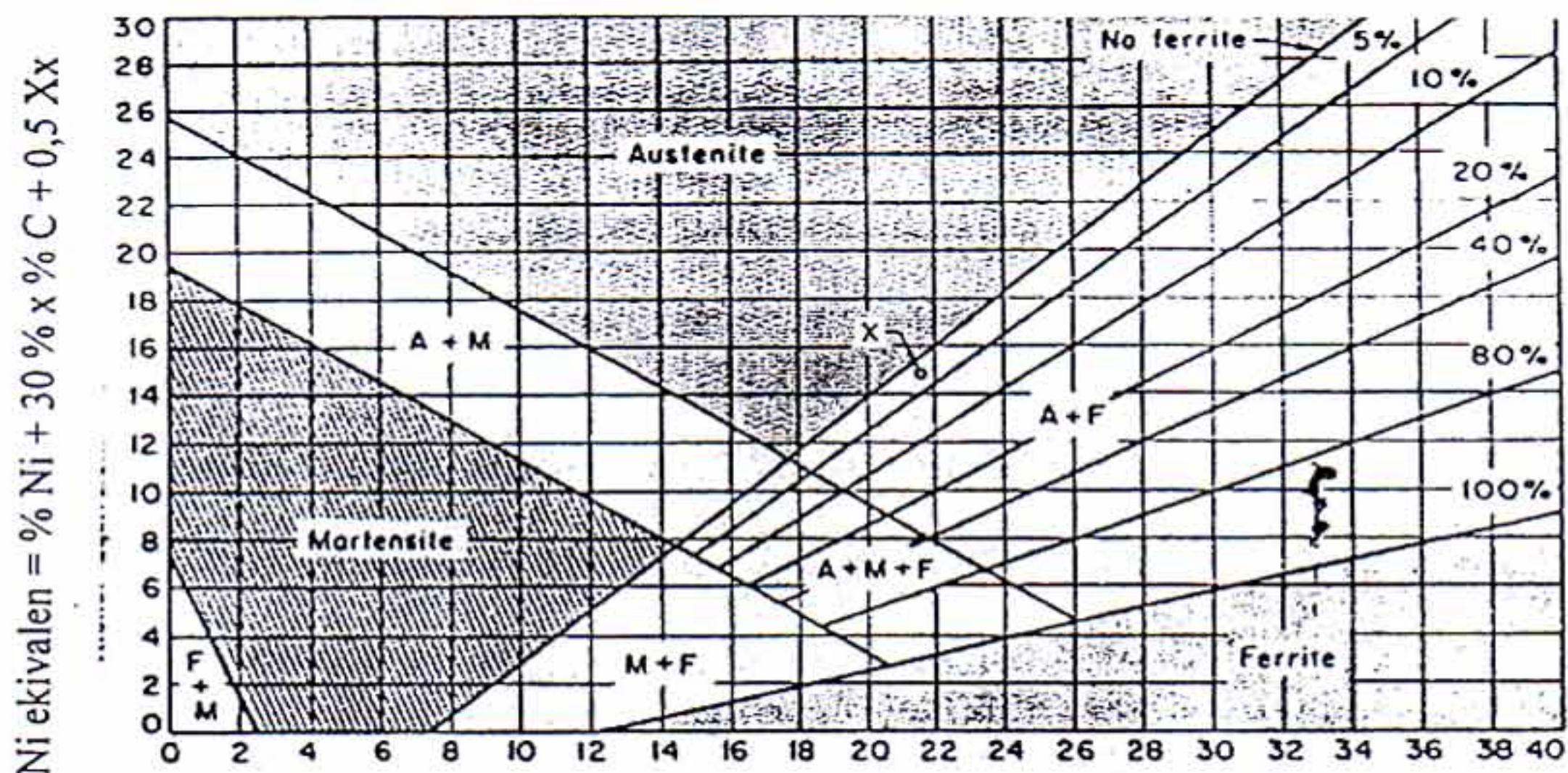


Pada Gambar 10 diperlihatkan grafik perbandingan angka kekerasan paduan antara bahan paduan yang mempunyai kombinasi persen Fe tetap dan persen Ni tetap. Dari gambar ini terlihat bahwa kenaikan kekerasan paduan akibat pengaruh kenaikan persen unsur Cr terlihat lebih jelas pada paduan dengan persen Fe tetap, dan juga terlihat bahwa penambahan unsur Cr di bawah 25 % pada paduan dengan persen Fe tetap mempunyai kekerasan di bawah kekerasan paduan dengan persen Ni tetap, dan pada kandungan Cr di atas 30 % kekerasan paduan untuk persen Fe tetap melebihi kekerasan paduan dengan persen Ni tetap. Dari grafik juga dapat diduga bahwa paduan akan mempunyai kekerasan yang sama antara paduan yang mempunyai komposisi 50 % Fe, 23 % Ni, 27 % Cr dengan paduan pada komposisi 50 % Ni, 23 % Fe, 27 % Cr. Dari pemaduan ini dapat terlihat bahwa dengan jumlah persen Cr yang sama, unsur Fe sebagai bahan dasar paduan dapat menaikkan kekuatan paduan, sementara unsur Ni tidak. Gambar 11 memperlihatkan grafik perbandingan angka kekerasan paduan antara bahan paduan yang mempunyai kombinasi persen Fe tetap dan persen Ni tetap sebelum dan sesudah perlakuan panas. Dari gambar ini terlihat adanya penurunan kekerasan paduan mencapai maksimum 15 % setelah mengalami perlakuan panas. Penurunan kekerasan ini diduga karena *segregasi* yang biasa muncul pada bahan hasil peleburan hilang karena proses homogenisasi.

Bila dilihat dari diagram *Schaeffler* pada Gambar 12, paduan dengan % Cr di atas 25 % dan kandungan Ni di atas 10 %, mengandung fase ferit antara 5 % s/d 100 %. Pada kandungan persen Fe dan Cr yang tinggi, fase yang terbentuk tidak hanya fase ferit, tapi terbentuk juga fase  $\sigma$  (sigma). Gabungan fase ferit dan fase  $\sigma$  mempertinggi kekuatan logam paduan [2], sehingga dengan melihat grafik kekerasan dan kandungan persen unsur dalam paduan, dapat diduga bahwa paduan pada komposisi persen Fe tetap 50 % dengan % Cr di atas 25 % dan Ni di bawah 25 % mengandung fase  $\sigma$  dan persen fase ferit yang tinggi, sedangkan paduan dengan



komposisi persen Ni tetap 50 % dengan persen Cr di atas 10 % mempunyai persen fasa *austenit* yang tinggi.



$$\text{Khrom ekivalen} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1,5 \times \% \text{Si} + 0,5$$

Gambar 12. Diagram Schaeffler untuk menentukan persen fasa ferit dalam paduan. [4].

## KESIMPULAN

1. Logam paduan FeNiCr hasil peleburan pada hampir setiap komposisi persen berat yang dibuat mempunyai bentuk struktur mikro yang sejenis, yaitu berbentuk struktur butir *columnar* dan di dalam butir tersebut mengandung struktur *dendrite* (bercabang) dan inti berbentuk plat jarum. Struktur dengan bentuk butir *equiaxial* terbentuk pada paduan dengan komposisi persen Fe dan Cr yang tinggi.



2. Struktur mikro logam paduan FeNiCr hasil perlakuan panas pada temperatur 1400<sup>0</sup>C selama 1 jam berbentuk *columnar* dan *equiaxial* yang mengandung *twin anil*.
3. Logam paduan FeNiCr dengan komposisi persen Ni tetap (50 %) mempunyai kekerasan 10 % lebih tinggi dibandingkan dengan logam paduan yang mempunyai komposisi persen Fe tetap (50 %) untuk komposisi persen Cr di bawah 25 %, sedangkan untuk komposisi persen Cr di atas 25 % , logam paduan dengan komposisi persen Fe tetap mempunyai kekerasan mencapai di atas 100 % lebih tinggi dari pada logam paduan dengan komposisi persen Ni tetap.
4. Perlakuan panas pada temperatur 1400 <sup>0</sup>C selama 1 jam menurunkan kekerasan paduan FeNiCr hasil peleburan maksimum 15 % ntuk semua komposisi paduan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. DIENST, W., Hoch Temperaturwerkstoffe, Werkstofftechnisch Verlaggesellschaft mbH., Karlsruhe, (1983) 7.
2. SHAIKH, H., VINOY, T.V., and. KHATAK, H.S., Materials Science and Technology, 14 (1998) 129.
3. FUJIWARA, M., and SAWARAGI, Y., Research and Development of FBR Fuel Cladding Tubes, Proceedings of the Fourth International Symposium. 1983
4. METAL HANDBOOK, Properties and Selection of Metals, 1, 10 th ed., ASM Ohio, 1990 : 436.
5. MILLER, N.A., BOULTON, L.H., Using Stainless Steel, Wellington, 1988 : 4.
6. METAL HANDBOOK, Metallographi, Structures and Phase Diagrams, 8, 8 th ed., ASM, Ohio, (1973) : 30