

JMI Vol. 42 No. 1, Juni 2020

METAL INDONESIA



Journal Homepage:

<http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi>

p-issn: 0126-3463

e-issn: 2548-673X



**KONTROL KUALITAS UANG LOGAM PECAHAN Rp 1.000,00
DENGAN TEKNIK DIFRAKSI SINAR-X (XRD)**

**THE QUALITY CONTROL OF IDR 1000 COIN
BY MEANS OF X-RAY DIFFRACTION (XRD) TECHNIQUE**

Ibrahim Purawiardi

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI),
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 470, Tangerang Selatan 15314, Banten, Indonesia
e-mail: rade026@lipi.go.id; ibrahimpurawiardi@gmail.com

Abstrak

Uang logam pecahan Rp 1.000,00 merupakan salah satu uang dengan nilai intrinsik yang paling baik dan banyak beredar di masyarakat. Oleh karena penggunaannya yang tinggi, maka kualitas uang logam ini perlu diperhatikan. Kontrol kualitas pecahan uang logam ini perlu dilakukan agar pecahan yang beredar di masyarakat adalah pecahan uang logam yang memenuhi standar. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengontrol kualitasnya adalah dengan teknik difraksi sinar-x (XRD). Dengan teknik ini, cacat struktur dapat dideteksi tanpa harus merusak uang logamnya, sehingga uang logam yang cacat struktur dapat dieliminasi dari peredaran. Namun, teknik XRD memerlukan cara tersendiri untuk menginterpretasikannya, oleh karena itu studi ini dilakukan untuk mencontohkan bagaimana cara menginterpretasikannya. Lima buah sampel uang logam pecahan Rp 1.000,00 digunakan dalam studi ini, dimana dari hasil kontrol kualitas yang dilakukan, terdapat satu pecahan uang logam yang terdapat cacat struktur. Dari hasil studi sendiri menunjukkan bahwa kelima sampel memiliki karakteristik struktur FCC yang merupakan target produksi dengan indikator bidang-bidang (111), (200), (220) dan (311). Namun, salah satu sampel ternyata memiliki cacat produksi berupa munculnya karakteristik BCC yang bukan merupakan target produksi dengan indikator bidang (310). Sampel yang memiliki cacat produksi ini dapat direkomendasikan untuk tidak diedarkan. Dari studi ini terbukti bahwa teknik analisis XRD dapat digunakan secara efektif untuk mengontrol kualitas uang logam secara non-destruktif.

Kata kunci : Uang logam Rp 1.000,00; XRD, kontrol kualitas.

Abstract

The IDR 1000 coin is one of the best intrinsic rupiah money and most widely used by Indonesian people. Because of these reasons, the quality of it needs to be considered. The quality control of this coin must be done in order to make sure that it meets the standard quality to distribute. An x-ray diffraction (XRD) technique is one way in order to control the quality of this coin. By using this technique, structural defect on this coin can be detected without destructs it, so that defected coin can be rejected to be distributed. However, this technique needs special technique to interpret it. This study aimed to exemplify how to interpret it. Five IDR 1000 coins were used as samples in this study. From this study, the result shows that there is a coin with structural defect. The results of this study show that all of five samples have FCC characteristics as a production target with (111), (200), (220) and (311) planes as indicators. However,

there is a sample with a production defect i.e. BCC characteristics with (310) plane as an indicator. This sample were then recommended to be rejected. Overall, this study shows that this XRD analytical technique can be effectively used for controlling the quality of money coin without destructs it.

Keywords : IDR 1000 coin, XRD, quality control.

PENDAHULUAN

Di dalam sistem moneter, nilai uang yang beredar di masyarakat dibedakan atas dua jenis yaitu nilai intrinsik dan nilai ekstrinsik (Blanc dan Desmedt, 2019; Hall, 2017). Nilai intrinsik merupakan nilai nominal yang tertera pada uang itu sendiri, sementara nilai ekstrinsik berhubungan dengan kemampuan daya beli uang tersebut terhadap suatu barang dan jasa serta berhubungan juga dengan daya tukarnya terhadap mata uang asing.

Uang yang beredar di masyarakat sendiri umumnya terdapat dua jenis, yaitu uang logam dan uang kertas. Diantara kedua jenis uang ini, uang logam yang umumnya terbuat dari logam memiliki rasio yang lebih berimbang dengan nilai nominalnya dibandingkan dengan uang kertas. Hal ini disebabkan pada uang logam, nilai nominal yang tertera harus dapat mencerminkan nilai aktual dari logam pembentuknya ditambah dengan faktor-faktor produksinya. Berbeda dengan uang kertas dimana kertas tidak mencerminkan sama sekali nilai nominal yang tertulisnya. Distribusi uang logam rupiah sendiri sangat banyak tersebar di masyarakat Indonesia.

Oleh sebab itu, kontrol kualitas uang logam rupiah menjadi hal yang penting. Kontrol kualitas terhadap uang logam rupiah ini penting dilakukan untuk menjamin keaslian dan kualitasnya sehingga memenuhi standar untuk diedarkan di masyarakat.

Salah satu uang logam dari mata uang rupiah yang memiliki nilai intrinsik yang paling berimbang dengan nilai nominalnya adalah uang logam pecahan Rp 1.000,00. Pecahan uang logam ini pun sangat banyak beredar di masyarakat. Uang logam ini sendiri terbuat dari paduan nikel, sehingga kontrol kualitas struktur logam nikelnya perlu dilakukan guna menjamin kualitas peredarannya.

Kontrol kualitas yang efektif untuk uang logam adalah kontrol kualitas dengan teknik yang tidak merusak uang logam tersebut (non-destruktif). Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan teknik difraksi sinar-x (XRD). Dengan teknik XRD, uang logam yang terbuat dari paduan nikel dapat diamati kualitasnya, terutama untuk mengamati kualitas struktur kristalnya. Informasi yang dapat diperoleh dari pengujian XRD untuk tipe paduan nikel seperti ini antara lain struktur kristal (Zhao et al., 2017) dan orientasi kristal (Sadeghi et al., 2016).

Pada studi kali ini, kontrol kualitas akan coba dilakukan pada uang logam Rp 1.000,00 dengan teknik XRD untuk mengamati kualitas struktur kristalnya. Studi seperti ini sendiri jarang dilakukan di Indonesia, oleh sebab itulah tulisan ini dibuat untuk mencontohkannya. Dalam kontrol kualitas menggunakan teknik XRD sendiri diperlukan teknik interpretasi khusus untuk analisisnya, dimana dalam tulisan ini pun akan dicontohkan pula bagaimana cara melakukannya.



Gambar 1. Uang logam pecahan Rp 1.000,00 edisi tahun 2016. (a) Sisi depan. (b) sisi belakang. (c) Titik penembakan sinar-x pada sisi belakang (lihat anak panah).

METODE PENELITIAN

Sampel yang digunakan pada studi ini adalah uang logam pecahan Rp 1.000,00 edisi tahun 2016 sebanyak lima buah. Gambaran pecahan uang logam ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Kelima sampel ini kemudian diberi kode a, b, c, d dan e untuk kemudian dikarakterisasi menggunakan difraktometer sinar-x (XRD) merek *Rigaku* tipe *SmartLab 3 kW* dengan *tube* Cu- α ($\lambda = 1.541862 \text{ \AA}$) dan rentang sudut 2θ dari 10° hingga 90° . Titik penembakan pada sampel sendiri sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 1.c.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian XRD pada kelima sampel dapat dilihat pada Gambar 2. Bila kita perhatikan pola-pola difraksinya, posisi-posisi puncak difraksi berada pada posisi sudut 2θ yang relatif sama. Dengan posisi sudut 2θ yang relatif sama ini, maka dapat dipastikan nilai-nilai d akan bernilai relatif sama pula. Nilai-nilai d yang relatif identik ini menunjukkan adanya probabilitas struktur kristal yang sama pula. Perbedaan antara pola-pola difraksi ini hanya terletak pada perbedaan intensitas (*intensity*) puncak-puncak difraksinya.

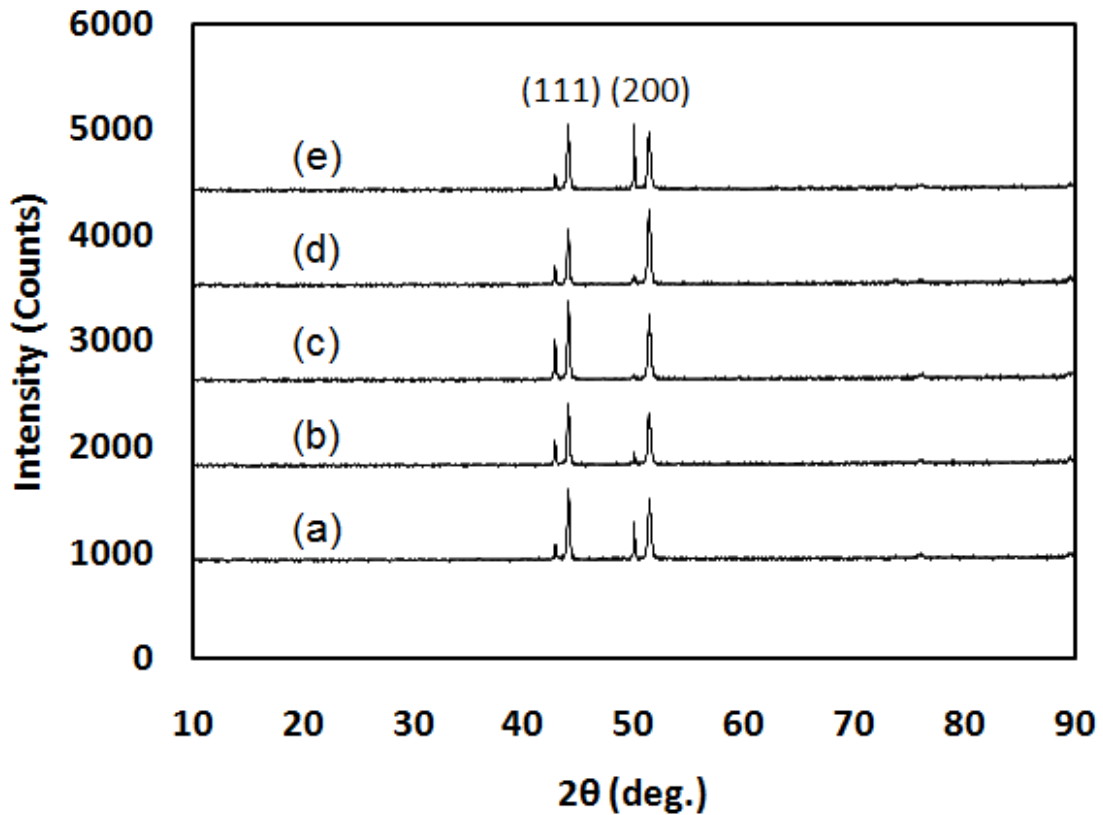
Adanya probabilitas kesamaan struktur kristal pada kelima sampel ini perlu dibuktikan secara lebih dalam. Untuk itu, analisis struktur kristal pada kelima sampel berdasarkan posisi sudut 2θ perlu dilakukan secara lebih cermat. Hasil analisis struktur kristal pada kelima sampel ini menunjukkan adanya kecenderungan struktur kristal kubik seperti yang ditunjukkan oleh kalkulasi pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

Dari kalkulasi pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 dapat terlihat adanya ciri khas kesamaan bidang yang terbentuk. Bidang-bidang tersebut adalah (111), (200), (220) dan (311). Kombinasi dari keempat bidang ini menunjukkan bahwa struktur yang ada pada koin Rp 1.000,00 adalah *face-centered cubic* (FCC) (Suryanarayana dan Grant Norton, 1998). Meskipun memiliki struktur dasar FCC, namun terdapat pula anomali berupa bidang (310) yang terbentuk pada sampel a. Bidang (310) ini

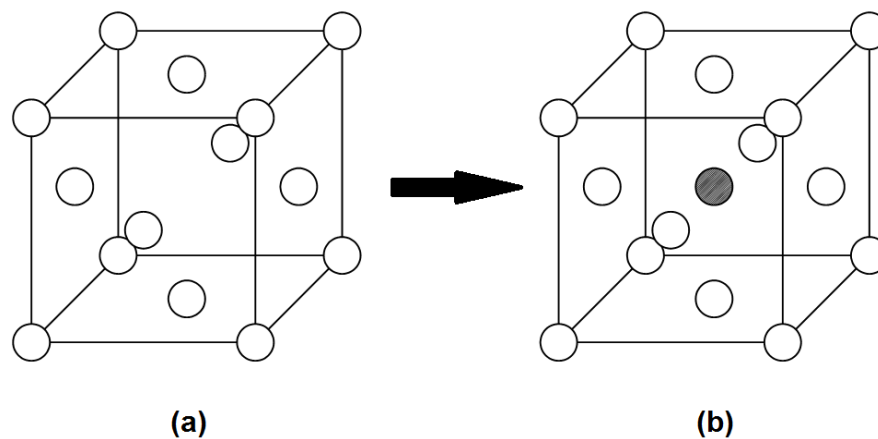
bukanlah karakteristik dari struktur FCC, namun merupakan karakteristik dari dua kemungkinan struktur, yaitu kubik primitif atau *body-centered cubic* (BCC) (Suryanarayana dan Grant Norton, 1998). Mengingat uang logam ini merupakan sebuah paduan, maka bidang (310) yang terdeteksi ini kemungkinan besar adalah indikator BCC semu akibat adanya atom paduan yang terinterstisi ke dalam sentral ruang *unit-cell* FCC (lihat ilustrasi pada Gambar 3.b). Anomali seperti ini biasa terjadi pada sebuah paduan Ni, dimana uang logam Rp 1.000,00 ini pun merupakan paduan Ni. Anomali seperti ini umumnya terjadi akibat ketidaksempurnaan difusi atom paduan (non-FCC) yang menuju struktur basis FCC namun gagal menempati okupansi atom FCC (Kabanova *et al.*, 2016).

Jika kita perhatikan kembali hasil kalkulasi pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5, dapat ditemukan juga keunikan lain yaitu adanya duplikasi bidang-bidang (111), (200) dan beberapa (220). Adanya duplikasi ini juga umum terjadi pada paduan berbasis Ni akibat ketidaksempurnaan pabrikan, yaitu berupa *twinning* akibat dislokasi karena kompresi (Vronka *et al.*, 2019). Dislokasi yang menyebabkan *twinning* ini umumnya berupa dislokasi berskala nano (Araki *et al.*, 2015). Namun, ini hanyalah dugaan terkuat. Pembuktian lebih lanjut tentunya dapat dilakukan dengan studi nano-dislokasi khusus menggunakan mikroskop transmisi elektron (TEM) (Araki *et al.*, 2015; Vronka *et al.*, 2019). Ilustrasi *twinning* (berdasarkan kalkulasi) ini dapat dilihat pada Gambar 4.

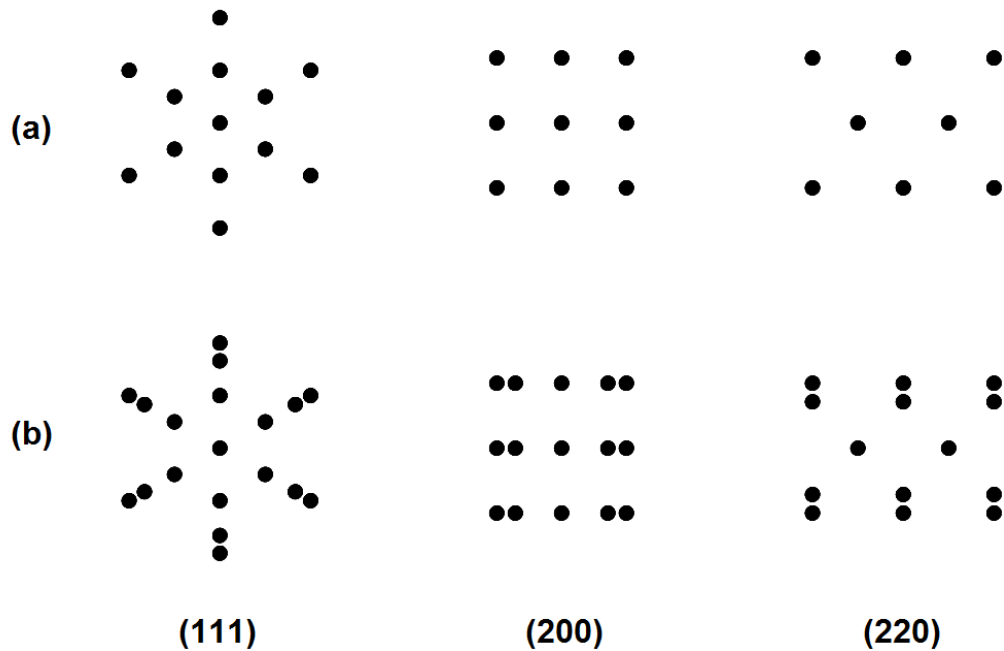
Perhatikan kembali hasil kalkulasi pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Pada kolom paling kanan masing-masing tabel, terdapat hasil perhitungan parameter kisi a untuk setiap puncak difraksi. Nilai-nilai parameter kisi tersebut sebetulnya merupakan nilai parameter kisi semu yang bergantung pada sudut pandang bidang (hkl) ketika diamati. Untuk mengetahui nilai parameter kisi yang sebenarnya (a_0), dapat dihitung menggunakan metode analisis parameter kisi presisi Nelson-Riley (Suryanarayana dan Grant Norton, 1998; Nelson dan Riley, 1945). Hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x pada kelima sampel uang logam pecahan Rp 1.000,00 yang berstruktur kristal kubik (kode sampel: a, b, c, d, e).



Gambar 3. Ilustrasi difusi atom paduan ke dalam struktur basis FCC yang menciptakan struktur BCC semu. (a) Struktur basis FCC. (b) Struktur FCC yang juga memiliki struktur BCC semu akibat difusi atom paduan (atom paduan ditandai dengan lingkaran yang diarsir).



Gambar 4. Ilustrasi *twinning* pada struktur kubik uang logam Rp 1.000,00 edisi 2016. (a) Kondisi normal tanpa adanya *twinning*. (b) Kondisi terjadinya *twinning*.

Tabel 1. Kalkulasi untuk identifikasi struktur kristal kubik pada sampel uang logam Rp 1.000,00 (a).

2θ ($^{\circ}$)	$\text{Sin}^2\theta$	$(\text{Sin}^2\theta) / 3$	$(\text{Sin}^2\theta) / 4$	$(\text{Sin}^2\theta) / 8$	$(\text{Sin}^2\theta) / 10$	$(\text{Sin}^2\theta) / 11$	hkl	a (\AA)
42.972000	0.134157	0.044719	0.033539	0.016770	0.013416	0.012196	111	3.645610
44.115000	0.141028	0.047009	0.035257	0.017628	0.014103	0.012821	111	3.555687
50.099000	0.179268	0.059756	0.044817	0.022409	0.017927	0.016297	200	3.641611
51.496000	0.188715	0.062905	0.047179	0.023589	0.018872	0.017156	200	3.549293
73.800000	0.360504	0.120168	0.090126	0.045063	0.036050	0.032773	220	3.631660
75.940528	0.378536	0.126179	0.094634	0.047317	0.037854	0.034412	220	3.544110
84.640000	0.453293	0.151098	0.113323	0.056662	0.045329	0.041208	310	3.620977
89.680000	0.497207	0.165736	0.124302	0.062151	0.049721	0.045201	311	3.626127

Tabel 2. Kalkulasi untuk identifikasi struktur kristal kubik pada sampel uang logam Rp 1.000,00 (b).

2θ ($^{\circ}$)	$\text{Sin}^2\theta$	$(\text{Sin}^2\theta) / 3$	$(\text{Sin}^2\theta) / 4$	$(\text{Sin}^2\theta) / 8$	$(\text{Sin}^2\theta) / 11$	hkl	a (\AA)
42.939	0.133960	0.044653	0.033490	0.016745	0.012178	111	3.648279
44.111	0.141004	0.047001	0.035251	0.017625	0.012819	111	3.555993
50.076	0.179115	0.059705	0.044779	0.022389	0.016283	200	3.643175
51.438	0.188319	0.062773	0.047080	0.023540	0.017120	200	3.553022
76.010	0.379124	0.126375	0.094781	0.047390	0.034466	220	3.541360
89.677	0.497181	0.165727	0.124295	0.062148	0.045198	311	3.626223

Tabel 3. Kalkulasi untuk identifikasi struktur kristal kubik pada sampel uang logam Rp 1.000,00 (c).

2θ ($^{\circ}$)	$\text{Sin}^2\theta$	$(\text{Sin}^2\theta) / 3$	$(\text{Sin}^2\theta) / 4$	$(\text{Sin}^2\theta) / 8$	$(\text{Sin}^2\theta) / 11$	hkl	a (\AA)
42.918000	0.133835	0.044612	0.033459	0.016729	0.012167	111	3.649980
44.138000	0.141168	0.047056	0.035292	0.017646	0.012833	111	3.553927
50.062668	0.179025	0.059675	0.044756	0.022378	0.016275	200	3.644083
51.483000	0.188627	0.062876	0.047157	0.023578	0.017148	200	3.550128
76.210000	0.380818	0.126939	0.095205	0.047602	0.034620	220	3.533473
89.560000	0.496160	0.165387	0.124040	0.062020	0.045105	311	3.629952

Tabel 4. Kalkulasi untuk identifikasi struktur kristal kubik pada sampel uang logam Rp 1.000,00 (d).

2θ ($^{\circ}$)	$\text{Sin}^2\theta$	$(\text{Sin}^2\theta) / 3$	$(\text{Sin}^2\theta) / 4$	$(\text{Sin}^2\theta) / 8$	$(\text{Sin}^2\theta) / 11$	hkl	a (\AA)
42.944	0.133990	0.044663	0.033498	0.016749	0.012181	111	3.647874
44.115	0.141028	0.047009	0.035257	0.017628	0.012821	111	3.555687
50.058	0.178994	0.059665	0.044749	0.022374	0.016272	200	3.644401
51.446	0.188374	0.062791	0.047094	0.023547	0.017125	200	3.552507
73.829	0.360747	0.120249	0.090187	0.045093	0.032795	220	3.630436
76.010	0.379124	0.126375	0.094781	0.047390	0.034466	220	3.541360
89.610	0.496597	0.165532	0.124149	0.062075	0.045145	311	3.628357

Tabel 5. Kalkulasi untuk identifikasi struktur kristal kubik pada sampel uang logam Rp 1.000,00 (e).

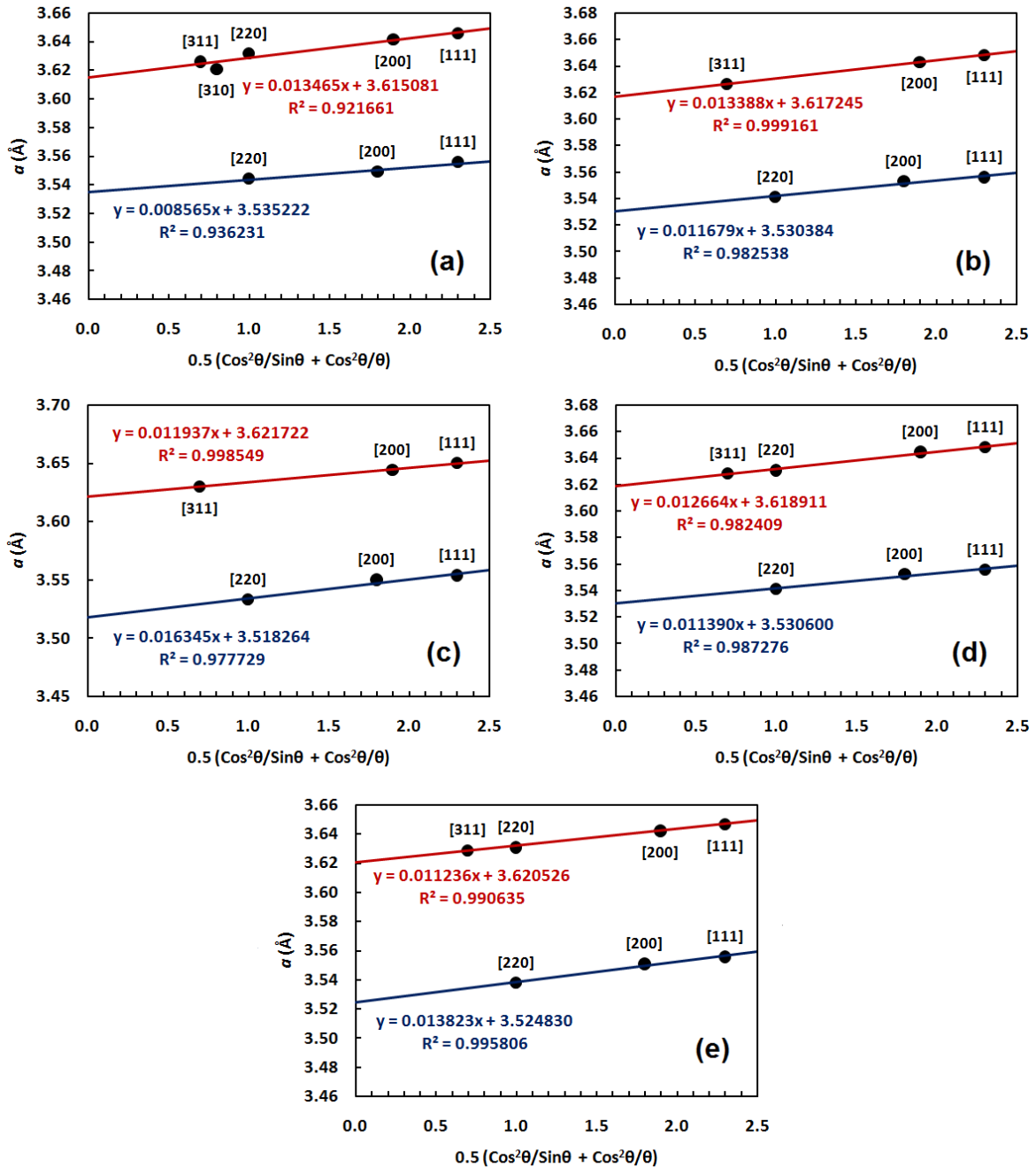
2θ ($^{\circ}$)	$\text{Sin}^2\theta$	$(\text{Sin}^2\theta) / 3$	$(\text{Sin}^2\theta) / 4$	$(\text{Sin}^2\theta) / 8$	$(\text{Sin}^2\theta) / 11$	hkl	a (\AA)
42.958000	0.134073	0.044691	0.033518	0.016759	0.012188	111	3.646742
44.116000	0.141034	0.047011	0.035259	0.017629	0.012821	111	3.555610
50.088000	0.179195	0.059732	0.044799	0.022399	0.016290	200	3.642359
51.471000	0.188545	0.062848	0.047136	0.023568	0.017140	200	3.550900
73.817070	0.360648	0.120216	0.090162	0.045081	0.032786	220	3.630940
76.094519	0.379840	0.126613	0.094960	0.047480	0.034531	220	3.538021
89.591000	0.496431	0.165477	0.124108	0.062054	0.045130	311	3.628962

Di dalam analisis parameter kisi presisi menggunakan kalkulasi Nelson-Riley, satu garis regresi linier yang terbentuk menunjukkan satu *unit-cell* (Nelson dan Riley, 1945). Sementara itu, nilai parameter kisi presisi a_o merupakan titik potong pada sumbu-y (dalam hal ini pada parameter kisi a yang merupakan ordinat) (Suryanarayana dan Grant Norton, 1998; Nelson dan Riley, 1945). Jika kita perhatikan Gambar 5, pada tiap-tiap sampel terdapat dua garis regresi linier dengan nilai R^2 diatas 0.9. Hal ini

menunjukkan bahwa terdapat kesamaan karakteristik yaitu terdapat dua *unit-cell* struktur kristal kubik. Kombinasi hkl pada bidang-bidang pembentuk *unit-cell* sendiri menunjukkan struktur keduanya adalah struktur FCC. Struktur FCC yang pertama (garis regresi berwarna merah) memiliki kisaran nilai a_o sebesar $3.618697 \pm 0.002633 \text{ \AA}$. Sementara itu, struktur FCC yang kedua (garis regresi berwarna biru) memiliki kisaran nilai a_o yang lebih kecil, yaitu sebesar $3.527860 \pm 0.006507 \text{ \AA}$. Dari analisis ini terlihat bahwa

struktur FCC yang pertama (bernilai a_o lebih besar) merupakan struktur utama. Satu anomali yang ada pada sampel a menunjukkan adanya struktur BCC semu yang ditandai dengan adanya bidang (310) yang ikut menjadi bagian pembentuk garis regresi linier *unit-cell* FCC. Dapat dikatakan, bidang BCC semu ini adalah salah satu cacat

produksi. Sementara itu, struktur FCC kedua (dengan nilai a_o lebih kecil) terbentuk dari susunan bidang-bidang yang diduga cacat *twinning*, yaitu bidang-bidang duplikat (111), (200) dan (220). Meskipun merupakan juga cacat produksi, cacat *twinning* ini stabil membentuk *unit-cell* FCC kedua.



Gambar 5. Hasil analisis parameter kisi presisi menggunakan metode kalkulasi Nelson-Riley.

Kisaran parameter kisi presisi a_o pada *unit-cell* FCC yang pertama memiliki kecenderungan menyerupai fasa Ni yang terbentuk dari proses perlakuan panas sekitar 1403 °C (CPDS # 5013, $a = 3.615 \text{ \AA}$). Sementara kisaran parameter kisi presisi a_o pada *unit-cell* FCC yang kedua menyerupai fasa Ni yang terbentuk pada kondisi temperatur sekitar 24 °C (CPDS # 5009, $a = 3.524 \text{ \AA}$). Dengan data ini, dapat kita temukan dugaan bahwa terbentuknya dua *unit-cell* FCC yang berbeda parameter kisi namun berfasa sama ini diakibatkan oleh adanya perlakuan panas dengan variasi suhu tinggi (1403 °C) dan suhu kamar (24 °C). Dengan demikian, dapat diduga bahwa cacat produksi yang terbentuk disebabkan oleh adanya juga proses pendinginan dari suhu tinggi ke suhu rendah, entah secara perlahan-lahan (*ageing*) maupun secara mendadak (*quenching*).

Dari studi ini terlihat jelas bahwa terdapat dua cacat produksi yang terbentuk, yaitu *twinning* dan struktur BCC semu. Uang logam Rp 1.000,00 sendiri merupakan paduan nikel dengan struktur basis FCC. Mengingat cacat *twinning* yang terbentuk tetap dapat membentuk struktur FCC secara stabil pada kelima sampel, maka cacat ini masih dapat ditoleransi. Akan tetapi, cacat produksi berupa struktur BCC semu tentunya membentuk fasa lain yang berstruktur non-FCC dan hanya terjadi pada satu sampel saja. Munculnya struktur BCC pada struktur basis FCC seperti ini dapat menyebabkan adanya ketidakseragaman sifat mekaniknya, terutama pada distribusi *stress* dan *strain*-nya (Malygin *et al.*, 2015). Sebuah uang logam sendiri haruslah memiliki kualitas yang sama bila diproduksi berulang-ulang. Artinya, distribusi struktur kristal dan sifat mekanik pada uang logam pun harus selalu sama bila diproduksi secara berulang-ulang. Oleh karena itu, cacat berupa struktur BCC semu ini bukanlah sebuah cacat yang dapat ditoleransi karena strukturnya bukanlah FCC yang merupakan target produksi. Dengan demikian, sampel a yang memiliki struktur anomali BCC semu dapat direkomendasikan untuk tidak diloloskan dalam kontrol kualitas pada studi ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Uang logam Rp 1.000,00 memiliki dua *unit-cell* struktur FCC berfasa Ni dengan nilai

parameter kisi yang berbeda yaitu $a_o = 3.618697 \pm 0.002633 \text{ \AA}$ dan $a_o = 3.527860 \pm 0.006507 \text{ \AA}$.

Parameter lolos uji kontrol kualitas pada studi ini adalah bila memiliki struktur FCC dengan karakteristik parameter kisi dari fasa Ni dan memiliki bidang-bidang (111), (200), (220) dan (311).

Dari kelima sampel uji, terdapat satu sampel yang tidak lolos uji, yaitu sampel a. Sampel a ini memiliki cacat produksi berupa adanya struktur BCC semu yang bukan merupakan target produksi dengan bidang (310). Hal inilah yang menyebabkan sampel a direkomendasikan untuk tidak lolos kontrol kualitas.

Dari studi ini, terbukti bahwa cacat produksi secara struktur kristal dapat dideteksi dengan teknik XRD, sehingga metode ini dapat direkomendasikan untuk kontrol kualitas uang logam Rp 1.000,00 secara non-destruktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Laboratorium Pusat Penelitian Fisika – LIPI atas fasilitas alat karakterisasi XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Araki, A., Kobayashi, E., Sato, T., Poole, W. "Deformation Twinning Behavior in Precipitate Strengthened Cu-Ni-Si Alloys." *Proc. The Minerals, Metals and Materials Society* (2015): 491-496. doi: 10.1007/978-3-319-48127-2_62.
- Blanc, J. and Desmedt, L., "Debating Sound Money in Early Modern Europe: From Dualist to Metallic Monetary Systems." In *Mining, Money and Markets in the Early Modern Atlantic*, edited by R. Pieper *et al.*, 29-61. Cham: Palgrave Macmillan, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-23894-0_3.
- Hall, L. A., "Money, Value, and Circulation." In *Women and "Value" in Jane Austen's Novels*, 15-35. Cham: Palgrave Macmillan, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-50736-1_2.
- Kabanova, I. G., Sagaradze, V. V., Kataeva, N. V. "On the Existence of Declared 9R Phase in Fe-Ni Invar Alloy." *Crystallography Reports* 61, no. 4 (2016): 581-586. doi: 10.1134/S106377451604008 8.
- Malygin, G. A., Ogarkov, S. L., Andriyash, A. V. "Dislocation-Kinetic Analysis of FCC and

- BCC Crystal Spallation under Shock-wave Loading." *Physics of the Solid State* 57, no. 9 (2015): 1772-1779. doi: 10.1134/S1063783415090243.
- Nelson, J. B. and Riley, D. P. "An Experimental Investigation of Extrapolation Methods in the Derivation of Accurate Unit-cell Dimensions of Crystals." *Proc. Phys. Soc.* 57 (1945): 160-177.
- Sadeghi, F., Kermanpur, A., Sarami, N., Heydari, D., Nematollahi, J., Bahmani, M. "A Comparison on the EBSD and RO-XRD Techniques for Measuring Crystal Orientation of the Single-Crystal Ni-based Superalloys." *Metallography, Microstructure, and Analysis* 5, no. 4 (2016): 342-349. doi: 10.1007/s13632-016-0293-x.
- Suryanarayana, C. and Grant Norton, M. *X-ray Diffraction: a Practical Approach*. New York: Plenum Press, 1998.
- Vronka, M., Karlik, M., Vesely, J., Manak, J., Heczko, O. "Suppression of Twinning Mechanism on Nanoscale: Size Effect in Cu-Ni-Al Shape Memory Alloy." *J. Mater. Sci.* 54 (2019): 6586-6593. doi: 10.1007/s10853-018-03296-5.
- Zhao, W., Zha, G. C., Kong, F. X., Wu, M. L., Feng, X., Gao, S. Y. "Strengthening Effect of Incremental Shear Deformation on Ti Alloy Clad Plate with a Ni-based Alloy Laser-clad Layer." *Journal of Materials Engineering and Performance* 26, no. 5 (2017): 2411-2416. doi: 10.1007/s11665-017-2615-9.