

Timbul Haryono

ANALISIS METALURGI: PERANANNYA DALAM EKPLANASI ARKEOLOGI[□]

Timbul Haryono[□]

1. Pengantar

Ilmu arkeologi berusaha untuk mengetahui aspek perilaku manusia masa lampau melalui jejak-jejak yang ditinggalkan, yang berupa benda-benda, baik yang berbentuk alat maupun bukan alat. Perilaku manusia yang telah menghasilkan tinggalan-tinggalan arkeologis mencakup 3 hal, yaitu '*buat*', '*pakai*', dan '*buang*' (Sharer dan Ashmore, 1977) yang merupakan proses awal terbentuknya data arkeologi. Analisis metalurgi berusaha menjawab atau menerangkan hal-hal yang bersangkutan paut dengan proses buat dan proses pakai terhadap artefak. Di samping itu, analisis metalurgi dapat pula dipakai untuk menjelaskan aspek-aspek kehidupan manusia dalam hal sosial, ekonomi, teknologi, dan ideologi.

Ada tiga jenis bahan utama yang pada umumnya dipakai oleh manusia untuk pembuatan alat yaitu: tanah, batu, dan logam. Ketiga jenis bahan inilah yang seringkali masih bertahan menghadapi 'gigi waktu' sehingga dapat ditemukan oleh para peneliti. Ketiga jenis bahan tersebut mempunyai proses teknologi yang berbeda. Jenis bahan logam memiliki proses yang lebih rumit dibandingkan dengan yang lain, yang kemudian melahirkan pengetahuan 'metalurgi'. Karena kerumitan itulah maka tidak mengherankan apabila pengetahuan metalurgi kemudian menjadi tolok ukur bagi munculnya peradaban (Childe, 1950). Pengetahuan metalurgi itulah yang juga melahirkan *craft specialization*. Menurut V.G. Childe perubahan teknologi dan spesialisasi

dalam kerajinan berhubungan erat dengan institusi sosial dan politik.

Para pande logam dikatakan sebagai *full-time specialist* atas dasar dua pertimbangan. Pertama bahwa pengerjaan logam memerlukan perhatian yang penuh (Childe, 1942:77). Pertimbangan kedua, dalam sejarah para pande logam bangsa Eropa pada awalnya mereka adalah *itinerant* yang tidak sempat atau tidak dapat memproduksi makanannya sendiri: "*Metalworkers thus had to make their living 'on the road', providing their services to many chiefs and villages*" (Wailes, 1996:5).

Akhirnya, isu tentang metalurgi juga berpengaruh dalam hal difusi kebudayaan, khususnya unsur teknologi. Di satu pihak adalah kelompok yang berpendapat bahwa hanya ada satu pusat munculnya pengetahuan metalurgi yang kemudian menyebar ke beberapa tempat melalui difusi, sedangkan pihak lain berpendapat bahwa ada beberapa pusat munculnya metalurgi sebagai *local development*. Isu tersebut sangat mewarnai permasalahan kebudayaan logam di Asia Tenggara (Bayard, 1979; 1980).

Dari paparan secara singkat seperti tersebut di atas diketahui bahwa disiplin metalurgi sangat bermanfaat bagi penelitian arkeologi (Haryono, 1983). Oleh karena itu analisis metalurgis diharapkan dapat membantu ekplanasi dalam disiplin arkeologi. Karangan singkat ini memaparkan metode dan peranan analisis metalurgis bagi kepentingan ilmu arkeologi.

2. Aspek Historis dan Teknis

-
- [□] Makalah dalam Seminar Evaluasi Hasil Penelitian Arkeologi, Lembang, 22—26 Juni 1999.
 - [□] Profesor Doktor, Master of Science, staf pengajar Jurusan Arkeologi, Fakultas Ilmu Budaya Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Analisis Metalurgi: Peranannya dalam Analisis Arkeologi

Metalurgi adalah cabang ilmu yang berkaitan dengan metal atau logam. Namun, batasan teknis tentang apa yang disebut 'metal' tampaknya belum ada kesepakatan secara universal. Seorang ahli kimia atau ahli fisika barangkali akan mempunyai pandangan yang berbeda. Bagi ahli metalurgi, perhatian utama terhadap logam adalah sifat-sifat logam yang menyangkut sifat mekanis, elektrik, dan magnetis (Brick, dkk. 1977:1). Tugas ahli metalurgi terutama adalah menemukan bagaimana cara memodifikasi dan mengubah sifat-sifat metalik melalui kontrol komposisi dan unsur logam. Perlu disebutkan bahwa atas dasar sifat-sifat metalik tersebut ada dua jenis logam yang disebut dengan istilah *unalloyed metal* (logam bukan paduan) dan *alloyed metal* (logam paduan). Logam paduan adalah kombinasi antara dua jenis logam atau lebih yang disatukan (dicampur) secara permanen dengan cara melebur bersama-sama (Knauth, 1974:12). Morton C. Smith (1956: 2) menyatakan bahwa, "*It is customary to reserve the term 'alloy' for metallic materials to which a foreign element or elements have been intentionally added for the direct purpose of altering their mechanical, physical, or chemical properties*". Jelaslah bahwa untuk dapat dinyatakan sebagai *alloy* harus ada faktor kesengajaan (*intensional*) karena tujuan tertentu.

Sebelum manusia mengenal *alloy*, jenis logam yang paling awal digunakan untuk bahan artefak adalah jenis tembaga alam (*native copper*). Dalam metalurgi tahap selama pemanfaatan tembaga alam sebagai satu-satunya bahan metalik disebut sebagai tahap monometalik. Jenis tembaga ini didapatkan manusia bukan melalui penambangan bijih tembaga. Teknik pengerjaannya sangat sederhana yaitu hanya penemuan (*hammering*) untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan (Smith, 1981:78). Ketika itu belum dikenal teknik *annealing*, yaitu suatu proses pemanasan atau pembakaran objek agar menjadi lebih lunak sehingga mudah ditempa. Hal tersebut disebabkan oleh sifat tembaga alam yang lunak. Teknologi tersebut merupakan *an extension of lithic technologies* (Wheeler dkk., 1979:17). Namun, melalui pengalamannya yang panjang akhirnya manusia menemukan teknik

peleburan (*melting*) sehingga tembaga dapat dicetak (Wheeler dkk., 1979:16-18; Wertime, 1964:1257-1267). Sejak itulah kemudian dikenal teknik cetak (*casting*). Dengan demikian, proses teknologi tembaga alam tersebut adalah *hammering*, *annealing*, dan *melting*.

Perkembangan tahap berikutnya adalah penemuan bijih tembaga melalui teknik penambangan. Jenis bijih yang dimanfaatkan pada masa-masa awal meliputi jenis bijih oksida (*oxide-ores/carbonate ores*), yaitu: *cuprite* (merah, Cu_2O), *malachite* (hijau, $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), *azurite* (biru, $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), dan *chrysocolla* ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Hodges, 1976:65). Keletakan jenis bijih tembaga tersebut yang tidak terlalu dalam (yaitu pada lapisan atau zona oksidasi) barangkali yang menyebabkan mudah ditambang oleh para penambang primitif (Pigott, 1981; Rosenfeld, 1965:134) dan mudah dikenali karena kenampakannya yang cemerlang biru, hijau, serta merah.

Fase historis penting dalam sejarah metalurgi adalah fase ke-3, yaitu fase polimetalik. Fase tersebut adalah fase pepaduan tembaga dengan logam lain yang menghasilkan perunggu. Perubahan dari *unalloyed metal* menjadi *alloyed metal* tentu saja menyebabkan terjadinya perubahan sifat-sifat tertentu. Logam paduan perunggu dapat terdiri atas dua komponen (*binary alloy*) dan dapat terdiri atas tiga komponen (*ternary alloy*) sebagai komponen utama, misalnya tembaga + timah ($\text{Cu}+\text{Sn}$) atau tembaga + timah + timbal ($\text{Cu}+\text{Sn}+\text{Pb}$).

Sejauh ini sejarah teknik penemuan perunggu masih menjadi perdebatan. Dalam hal perunggu-timah (*tin bronze*) para ahli metalurgi menduga bahwa perunggu dibuat (Coghlan, 1975:35-36):

- a. dengan cara melebur (*melting*) tembaga dan timah secara bersama-sama,
- b. dengan cara menambahkan mineral *cassiterite* (SnO) pada tembaga cair,
- c. dengan cara melebur (*melting*) bijih logam yang secara alami mengandung unsur Cu dan Sn, dan
- d. dengan melebur (*melting*) bijih tembaga bersama dengan *cassiterite*.

Perlu disebutkan bahwa ada sejenis bijih logam yang secara alami mengandung

Timbul Haryono

unsur tembaga dan timah, yaitu yang disebut *stannite*. Namun, jika melebur jenis bijih tersebut tidak akan dihasilkan perunggu 'klasik'. Lagi pula belum ditemukan bukti-bukti arkeologis bahwa jenis bijih tersebut pernah dimanfaatkan pada masa lampau. Meskipun pada dasarnya logam paduan perunggu adalah campuran antara tembaga dan timah, kadang-kadang ditemukan unsur lain dalam komposisinya, yaitu timbal (*Pb*). Penambahan timbal dapat meningkatkan fluiditas logam cair sehingga dapat menghasilkan hasil cetakan yang kualitasnya baik. Logam cair yang tingkat fluiditasnya tinggi akan dapat memasuki celah-celah cetakan yang rumit sebelum proses solidifikasi berhenti. Biasanya campuran ini digunakan dalam pembuatan patung. Timbal adalah logam yang lunak. Oleh karena itu, jarang digunakan sebagai artefak teknomik. Sebagai logam paduan, timbal dapat dicampur dengan timah sehingga diperoleh apa yang disebut dengan istilah *pewter* (Hodges, 1976:95). Keuntungan paduan ini adalah bahwa logam akan lebih kuat dan tahan korosi dibandingkan dengan bahan lain untuk bahan pembuatan benda-benda wadah. Arsenik (*As*) seringkali juga ditambahkan pada logam perunggu. Dalam proporsi yang kecil, sampai 3%, menyebabkan logam menjadi lebih keras dan jika unsur *As* lebih besar lagi menyebabkan logam menjadi getas.

Logam paduan lainnya setelah penemuan perunggu adalah *brass* (kuningan), yaitu campuran antara tembaga dan seng (*Zn*). Makin banyak unsur *Zn* (sampai 30%) menghasilkan warna makin kuning serta meningkatkan kekerasan dan plastisitasnya (*ductility*). Penambahan 5% *Zn*, disebut dengan istilah *gilding metal*, menyebabkan warna menjadi keemasan. Oleh karena itu, banyak dimanfaatkan untuk pembuatan perhiasan yang murah dan untuk proses pelapisan (*gilding*) tembaga atau perunggu. Penambahan 10% *Zn*, disebut *commercial bronze*, menyebabkan warna logam menjadi seperti perunggu dan lebih murah dibandingkan dengan perunggu (Brick dkk., 1977:179). Unsur seng diperoleh dari bijih *calamine* (*ZnCO₃*).

Sebagaimana telah disebutkan bahwa penemuan logam paduan menghasilkan jenis logam yang kualitasnya lebih baik di-

bandingkan dengan tembaga. Namun, penambahan unsur tersebut hanya sampai pada batas persentase tertentu. Secara umum logam paduan perunggu lebih keras dibandingkan dengan tembaga. Tingkat kekerasannya makin naik sejalan dengan makin banyaknya unsur timah, tetapi logam menjadi lebih getas. Makin rendah kandungan unsur *Sn*, logam makin lunak. Tingkat kekerasan dapat diakibatkan pula oleh proses pengerjaan. Penempaan dapat menyebabkan logam menjadi lebih keras. Namun, penempaan yang terus-menerus menyebabkan logam menjadi mudah patah. Oleh karena itu, agar penempaan dapat dilakukan lagi logam harus dibakar (*annealing*). Selain itu, unsur timah juga dapat menurunkan titik leleh (*melting point*). Tembaga (*Cu*) mempunyai titik leleh 1083° C, timah (*Sn*) mempunyai titik leleh 232° C. Pada umumnya perunggu yang dicetak memiliki unsur *Sn* berkisar 10% dan titik lelehnya turun sampai sekitar 900° C dan begitu seterusnya. Pada komposisi sampai 30% *Sn*, disebut dengan istilah *speculum*, warna logam menjadi agak putih.

Selain artefak logam dari bahan seperti tersebut di atas, logam emas (*Au*) juga banyak dimanfaatkan untuk artefak dan untuk dekorasi. Logam emas adalah jenis logam yang lunak sehingga mudah dikerjakan. Ia dapat ditempa sampai menjadi bentuk lembaran yang sangat tipis tanpa harus dipanaskan. Untuk artefak perhiasan biasanya dicampur dengan logam lain untuk membentuk logam paduan. Logam lain untuk membentuk *alloy* tersebut adalah tembaga, perak (*Ag*), atau kedua-duanya. Campuran dengan tembaga menyebabkan warna emas menjadi kemerahan, sedangkan campuran perak menjadikan warna emas keputih-putihan.

Besarnya proporsi emas dalam suatu campuran biasanya dinyatakan dalam bentuk 'karat' yaitu satuan 24 bagian. Hal ini berarti bahwa jika dikatakan emas 24 karat adalah emas yang tidak dicampurkan dengan logam lain; emas 18 karat berarti 18 bagian berupa logam emas dan 6 bagian jenis logam lain. Namun untuk tujuan analisis metalurgi cara seperti tersebut kurang menguntungkan. Sebagaimana dicontohkan di atas dengan emas 18 karat tersebut hanya diketahui bahwa 6 bagian adalah

Analisis Metalurgi: Peranannya dalam Analisis Arkeologi

jenis logam lain yang mungkin lebih dari satu unsur. Oleh karena itu, jika campurannya adalah tembaga dan perak, sulit diketahui berapa bagian tembaga dan berapa bagian perak dari total 6 bagian tersebut. Untuk itu, disarankan bahwa analisis artefak emas adalah analisis komposisi persentase unsur.

3. Teknik Pengerjaan

3.1 Teknik Tempa

Pada prinsipnya teknik pengerjaan artefak perunggu adalah teknik tempa dan teknik cetak. Dalam hal teknik tempa pengerjaan logam tembaga dan paduannya adalah tempa dingin - *cold working*. Pengerjaannya adalah penempaan dilakukan dalam keadaan dingin tanpa dibarengi dengan proses pembakaran seperti halnya besi. Namun, perlu diketahui bahwa penempaan yang terus-menerus logam menjadi keras dan mudah retak karena struktur kristal logam mengalami distorsi dan sampai titik tertentu tidak dapat ditempa lagi. Sebelum mencapai titik kritis tersebut logam harus dipanaskan perlahan-lahan (proses *annealing*) sampai menjadi agak kemerahan kemudian dibiarkan dingin. Dalam keadaan demikian, struktur kristal yang baru akan terbentuk lagi sehingga penempaan dapat dilakukan lagi sampai memperoleh bentuk yang diinginkan. Pada penempaan yang terakhir tidak diikuti dengan proses *annealing* agar tingkat kekerasannya tidak menurun.

3.2 Raising dan Sinking

Untuk pembuatan benda-benda wadah, penempaan yang dilakukan ada 2 macam yang disebut dengan istilah *raising* dan *sinking*, *blocking* atau *hollowing* (Hodges, 1976:73-76). Teknik tersebut biasa diterapkan untuk pembuatan benda-benda wadah atau benda yang berbentuk cekung. Teknik *raising* adalah penempaan dari sisi luar artefak pada sebuah landasan yang berbentuk cembung (*dome-headed anvil*). Sebaliknya, teknik *sinking* adalah penempaan yang dilakukan dari sisi dalam. Selain itu, ada teknik yang disebut dengan istilah *spinning* yang pada prinsipnya sama dengan teknik *raising* yang bersifat mekanik.

3.3 Teknik Cetak

Pembuatan dengan teknik ini menggunakan sejenis cetakan yang dapat dibedakan berdasarkan tipenya menjadi: tipe cetakan terbuka atau cetakan tunggal (*open mould*), tipe cetakan ganda (*multi mould* atau *piece mould*), tipe cetakan setangkup (*bivalve mould*). Tipe cetakan terbuka adalah tipe cetakan yang dapat dikatakan tertua. Benda yang dihasilkan dengan cetakan tersebut biasanya pada salah satu sisinya datar. Cetakan setangkup terdiri atas dua bagian, masing-masing merupakan separoh bagian benda yang ingin dihasilkan, kemudian ditangkupkan untuk membentuk benda utuh. Adapun cetakan *multi mould* adalah cetakan yang terdiri dari bagian-bagian cetakan yang lebih dari dua bagian.

Untuk pembuatan benda yang bentuknya lebih rumit dan kompleks biasanya digunakan metode cetak *lost wax* atau *cire perdue*. Proses pencetakan dengan metode tersebut terdiri atas tiga tahap yang disebut tahap positif, negatif, dan positif. Tahap positif yang pertama adalah membuat sebuah model benda yang ingin dihasilkan dari bahan tanah liat. Model tersebut kemudian dibalut dengan lilin sampai pada ketebalan tertentu. Lilin yang di dalamnya berisi model tersebut kemudian dibungkus dengan tanah liat untuk selanjutnya dibakar. Pada waktu pembakaran, lilin akan mencair dan mengalir keluar melalui lubang yang telah disediakan saat pembalutan. Hasilnya adalah bahwa tanah pembalut lilin tadi menjadi cetakan yang negatif. Selanjutnya, logam cair dituang ke dalam cetakan tersebut sehingga menghasilkan benda yang diinginkan.

Apabila diperlukan penyambungan antarbagian artefak dapat digunakan teknik *running-on*, *burning-on*, atau *casting-on*. Selain itu juga dapat digunakan teknik *welding*, *soldering*, dan *riveting*. Untuk teknik *casting-on* pada ujung bagian yang akan disambung atau digabungkan terlebih dahulu dibalut dengan tanah liat yang di dalamnya diisi dengan lilin (seperti pada teknik *cire perdue*). Setelah dipanaskan, rongga yang ditinggalkan oleh lilin kemudian diisi dengan logam cair sebagai bahan penyambung. Untuk teknik *welding*, kedua ujung bagian yang akan disambung dibakar

Timbul Haryono

sampai mendekati titik leleh (*melting point*) kemudian ditempa sehingga keduanya dapat menjadi satu. *Soldering* adalah penyambungan dengan menggunakan soldir. Bahan soldir yang digunakan adalah paduan 55% Cu + 45% Zn (disebut sebagai soldir keras) atau 67% Pb + 33% Sn (soldir lunak) (Hodges, 1976:76).

3.4 Teknik Dekorasi

Pembuatan dekorasi untuk artefak tembaga dan perunggu dapat dilakukan dengan beberapa teknik: *repoussé*, *chasing*, *engraving*, *overlying*, *flushing*. Teknik *repoussé* adalah pembuatan dekorasi dengan penempaan dari sisi belakang sehingga menimbulkan hiasan berbentuk relief. Penempaan dilakukan secara hati-hati dan perlahan-lahan. Teknik tersebut juga dapat dilakukan dengan penempaan bagian permukaan yang disebut *chasing*. Kedua macam teknik tersebut tidak meninggalkan goresan seperti halnya pada teknik *engraving*. Teknik *overlying* dilakukan dengan menempelkan logam lain pada artefak logam yang akan dihias kemudian dipukul-pukul sampai menempel. Adapun teknik *flushing* atau *flashing* adalah melapisi permukaan artefak dengan lempengan logam dengan menggunakan soldir. Selain itu, ada teknik lain yang disebut *gilding*, yaitu melapiskan lempengan logam dengan menggunakan zat *adesive*. Adapun untuk teknik *amalgam-gilding* pertama-tama dibuat paduan antara emas dan air raksa untuk membentuk sebuah amalgam kemudian dilapiskan pada permukaan objek. Tahap selanjutnya adalah memanaskan objek tersebut untuk menghilangkan unsur *mercury*.

Untuk pembuatan artefak emas, selain dengan teknik tempa, juga dapat dilakukan dengan pembuatan menjadi bentuk kawat terlebih dahulu. Teknik tersebut dinamakan *filigree*, yang kemudian disatukan dengan soldir. Biasanya teknik ini digunakan untuk pembuatan perhiasan. Apabila logam emas dibentuk menjadi butiran-butiran kecil, teknik tersebut dinamakan *granulation*. Penyambungan dilakukan dengan menggunakan soldir yang berupa logam paduan emas + tembaga dalam komposisi persentase 82% Au dan 18% Cu dan soldir tersebut dinamakan soldir emas. Komposisi tersebut

menghasilkan titik leleh (*melting point*) 878° C, 185° C di bawah titik leleh emas murni.

4. Metode Analisis

Uraian di muka bertujuan untuk memberikan gambaran proses pembuatan artefak logam. Berdasarkan pada uraian tentang proses teknik pembuatan tersebut diperoleh pokok-pokok permasalahan tentang bahan, komposisi bahan, dan teknik pembuatan. Analisis metalurgi pada prinsipnya bertujuan untuk menjawab pertanyaan tentang ketiga hal tersebut. Pemilihan metode analisis artefak logam sepatutnya disesuaikan dengan permasalahan yang akan dijawab dan urgensi permasalahan tersebut dalam konteksnya dengan arkeologi. Meskipun analisis metalurgi itu pada dasarnya menjawab permasalahan yang sifatnya teknis, hasil analisis tersebut akan sangat membantu untuk ekplanasi arkeologis misalnya aspek sosial, ekonomi, dan ideologi.

4.1 Pokok-pokok metode analisis metalurgi

Pada dasarnya metode analisis artefak logam terdiri atas analisis fisik dan analisis kimiawi. Analisis fisik meliputi analisis warna, kekerasan, radiografi, dan metalografi. Analisis kimiawi meliputi: analisis kuantitatif dan *X-ray Diffraction*.

4.1.1 Warna

Analisis warna sebenarnya kurang menjamin akurasi penentuan jenis bahan terutama jika artefaknya telah mengalami korosi. Jenis logam yang berbeda kadang-kadang mempunyai kemiripan dalam hal warna. Paduan Cu-Ag yang terkorosi (bagian Cu-nya) akan tampak berwarna hijau seperti kenampakan perunggu. Artefak yang dibuat dari perak mungkin kenampakan warnanya akan mirip dengan logam *speculum*. Brass dengan perunggu timah yang mengandung Pb yang tinggi juga memiliki kemiripan warna (Hodges, 1976:207).

4.1.2 Specific Gravity (Berat Jenis)

Berat Jenis masing-masing logam berbeda. Oleh karena itu, analisis tersebut dapat menjawab pertanyaan apakah logam

Analisis Metalurgi: Peranannya dalam Analisis Arkeologi

yang dimaksud murni atau paduan. Namun, untuk informasi komposisi unsur juga kurang akurat karena, sebagai contoh, *alloy Cu 90%-Sn 6%-Pb 4%* berat jenisnya hampir sama dengan tembaga murni. Berikut adalah tabel *Specific Gravity* beberapa jenis logam tertentu (Hodges, 1976:208):

Antimoni	- 6.62	Timbal	- 11.34
Arsenik	- 5.72	Nikel	- 8.80
Tembaga	- 8.93	Perak	- 10.50
Emas	- 19.30	Timah	- 7.28
Besi	- 7.86	Zeng	- 7.10

4.1.3 Skala Kekerasan

Analisis skala kekerasan cukup bermanfaat untuk menjelaskan teknik pengerjaan artefak, terutama jika komposisi unsurnya telah diketahui. Kekerasan logam diukur dengan menggunakan metode bermacam-macam seperti metode Vicker yang menghasilkan skala *Vicker's Pyramid Number (VPN)* dan Brinell. Salah satu yang lazim digunakan adalah metode Brinell. Pada metode ini sebuah bola baja ditekan pada objek yang diukur dengan beban tertentu. Diameter jejak beban tersebut kemudian diukur dan dengan menggunakan tabel kemudian dikonversikan ke dalam skala

yang disebut BHN (*Brinell Hardness Number*).

Sebagaimana telah diuraikan di muka bahwa skala kekerasan artefak logam dapat menggambarkan komposisi unsur dan teknik pengerjaannya. Artefak logam yang semata-mata dicetak mempunyai kekerasan lebih rendah jika artefak tersebut dalam pembuatannya ditempa. Komposisi *Cu:Sn* yang berbeda pada artefak perunggu menunjukkan pula perbedaan skala kekerasannya. Sebagai contoh dapat dikutip tabel berikut (Barnard dan Sato Tamotsu, 1975:72).

Artefak	Cu	Sn	Pb	BHN
Kapak perunggu	84	15	-	100
Mata tombak	80	17	-	97
Kapak perunggu	82	10	7	60-70
Mata tombak	98	1	1	31

Perunggu dengan komposisi *Cu:Sn* = 90:10 jika hanya dicetak mempunyai skala kekerasan sekitar 88 *BHN*. Namun, jika logam tersebut ditempa, skala kekerasannya meningkat menjadi 228 *BHN*. Untuk sekedar memperoleh gambaran, skala kekerasan Brinell dan perbandingannya dengan skala kekerasan Mohs dapat dilihat pada tabel berikut (Hodges, 1976:179):

Skala Mohs	Skala Brinell	Skala Moh	Skala Brinell
8.0	627	6.0	302
7.5	555	5.5	248
7.0	444	5.0	182
6.5	375	4.5	149

4.1.4 Analisis Radiografi

Analisis radiografi termasuk salah satu metode analisis metalurgi yang bersifat nondestruktif. Prinsip metode ini adalah memotret objek dengan menggunakan sinar-X (Brick dkk., 1977:459-460). Hasil foto radiograf dapat mengungkap keberadaan jenis-jenis logam yang berbeda dalam satu artefak dan juga dapat menunjukkan ada dan

tidak adanya sambungan pada logam yang sama.

4.1.5 Analisis Metalografi

Metode ini termasuk metode destruktif karena harus mengambil (memotong) sampel artefak yang akan diteliti. Tujuan analisis metalografi ialah untuk mengetahui keadaan struktur mikro sebagai akibat dari

Timbul Haryono

proses pengerjaan. Proses analisisnya adalah *cutting*, *mounting*, *grinding*, *polishing*, *etching*, baru kemudian diperiksa melalui mikroskop. Analisis ini memerlukan kesabaran dan ketelitian. *Cutting* adalah pemotongan sampel dengan gergaji halus dan besarnya sampel disesuaikan dengan keadaan objek. Demikian pula penentuan bagian mana yang harus dipotong harus dipertimbangkan dengan seksama agar tidak lebih merusak kenampakan objek. Selanjutnya, potongan sampel tersebut ditempatkan pada bahan yang disebut *thermoset plastic* (seperti *phenolic*) agar dapat mudah dipegang untuk proses berikutnya (*mounting*). *Grinding* dilakukan agar permukaan sampel menjadi rata dengan menggunakan *abrasive grits* secara berturut-turut dari kasar sampai yang halus. Selama proses *grinding* dilakukan, sampel dapat menjadi panas. Oleh karena itu, harus diberi air. *Polishing* dikerjakan dengan menggunakan kain *abrasive* yang sangat halus di atas sebuah roda putar agar diperoleh permukaan yang benar-benar rata dan halus tidak ada goresan. Tahap selanjutnya adalah *etching* yaitu membasahi permukaan sampel dengan bahan kimiawi tertentu agar struktur mikro logam menjadi lebih jelas dilihat dengan mikroskop dengan magnifikasi rendah atau magnifikasi tinggi.

Struktur mikro logam dapat menunjukkan apakah artefak yang dianalisis dikerjakan dengan teknik tempa, teknik cetak, ada dan tidaknya proses *annealing*. Metalografi pada dasarnya terletak pada suatu fakta bahwa logam sebenarnya adalah unsur yang bersifat kristalin. Atom yang membentuk logam tersusun secara teratur membentuk *space lattice*. Jika sebuah logam meleleh, susunan yang teratur akan berubah menjadi acak. Jika logam tersebut dingin, kristal-kristal kecil akan terbentuk menjadi pola *dendrite*. Proses pendinginan yang berlangsung terus akan menyebabkan *dendrite* tersebut berkembang sampai pada suatu saat satu sama lain saling berhubungan. Masing-masing *dendrite* tersebut menjadi bentuk kristal yang disebut dengan istilah *grain*. Apabila logam tersebut ditempa pola *dendritik* akan rusak dan terbentuk garis-garis *slip* (*slip lines*). Jika penempaan kemudian diikuti dengan proses *annealing*, pola strukturnya berubah menjadi garis-garis

sejajar (*twin line*) begitu seterusnya. Dengan demikian, tampak jelas perbedaan mikro-struktur kristal antara logam cetak dan logam tempa (Haryono, 1985). Berhubungan dengan sifat analisis yang destruktif itu maka sebaiknya analisis metalografi dilakukan pada kondisi yang sangat penting.

4.1.6 Analisis Difraksi Sinar-X (X-ray Diffraction)

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui mikro-struktur logam sebagaimana halnya analisis metalografi. Oleh karena itu, hasilnya dapat menjelaskan metode dan teknik pengerjaan artefak yang dianalisis. Perunggu cetak dengan perunggu tempa akan menghasilkan pola difraksi yang berbeda. Metode tersebut sangat bermanfaat jika objek yang dianalisis belum rusak (korosi). Namun, perlu dicatat bahwa pola difraksi yang terekam hanyalah bagian permukaan objek (artefak), sementara bagian dalam tidak diketahui.

4.1.7 Analisis Elemental-Kuantitatif

Analisis kuantitatif bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur logam paduan dan komposisinya. Oleh karena itu, dapat disebut juga dengan istilah analisis elemental (Haryono, 1984). Metode analisis yang digunakan biasanya disebut *spectrometry*. Hasil yang dicapai dari analisis tersebut adalah macam-macam unsur logam yang terdapat pada suatu artefak dan berapa persentase masing-masing unsur tersebut. Permasalahan yang dihadapi dalam hal ini adalah tidak semua unsur yang ada dapat dinyatakan sebagai alloy, dalam pengertian bahwa keberadaan unsur tersebut secara sengaja. Unsur-unsur logam dalam persentase yang sangat kecil mungkin hanya merupakan *impurity* yang berasal dari jenis bijih logamnya.

Perbandingan komposisi unsur akan sangat bermanfaat untuk menjelaskan bahan suatu artefak, alasan teknis pencampuran. Mungkin dalam hal jumlah artefak yang dianalisis cukup banyak maka perbandingan komposisi unsurnya dapat menjelaskan apakah terjadi teknik daur-ulang dalam pembuatannya.

Analisis Metalurgi: Peranannya dalam Analisis Arkeologi

Analisis metalurgi sebagaimana telah dipaparkan secara singkat tersebut sangat bermanfaat bagi disiplin arkeologi. Oleh karena itu, apabila dalam suatu ekskavasi ditemukan artefak logam, sebaiknya analisis metalurgi segera dilakukan. Peneliti dapat menyatakan bahwa artefak logam yang ditemukan dibuat dari bahan besi, tembaga, perunggu, dan sebagainya harus didukung oleh bukti-bukti hasil analisis metalurgi. Penafsiran atas dasar pengamatan mata telanjang saja tidak valid.

Jenis-jenis metode analisis yang dipilih harus didasarkan pada permasalahan pokok yang ingin dipecahkan. Setiap artefak logam akan memerlukan analisis metalurgi yang berbeda dan tidak setiap artefak logam yang ditemukan dalam penelitian harus dianalisis secara metalurgis. Harus disadari bahwa dalam beberapa hal tertentu analisis metalurgis bersifat destruktif karena harus mengambil sampel dengan cara memotong atau mengebor artefak. Hal inilah yang kadang-kadang menjadi kendala dalam suatu penelitian arkeologi. Namun, apabila urgensi analisis telah ditentukan, analisis metalurgis tidak dapat dihindari.

Hasil analisis metalurgi bukan hanya dapat menjawab permasalahan teknis arkeologis, tetapi juga dapat membantu dan mendukung menjelaskan aspek-aspek kehidupan manusia masa lampau seperti aspek sosial-ekonomi, aspek simbolik-religius, dan aspek kehidupan lainnya (Haryono, 1994).

DAFTAR PUSTAKA

- Bayard, Donn T. 1979. "The Chronology of Prehistoric Metallurgy in Northeast Thailand: *Silābhūmi* or *Samrddhabhūmi*?" Dalam R.B.Smith dan W. Watson (ed.) *Early South East Asia. Essays in Archaeology, History, and Historical geography* hal. 15-32. New York: Oxford University Press.
- . 1980. "An Early Indigenous Bronze Technology in Northeast Thailand: Its Implications for the Prehistory of East Asia". H.H.E. Loofs Wissowa (ed.) *The Diffusion of Material Culture*. Asian and Pacific Archaeology Series 9. Honolulu: Social Science Institute, University of Hawaii, hal. 191-214.
- Barnard, Noel dan Sato Tamotsu. 1975. *Metallurgical Remains of Ancient China*. Tokyo: Nichiosa.
- Brick, Robert M., Alan W. Pense, Robert B. Gordon. 1977. *Structure and Properties of Engineering Materials*. McGraw-Hill, Inc.
- Childe, V. Gordon. 1942. *What Happened in History*. Harmondsworth: Penguin Books.
- . 1950. "The Urban Revolution" in *Town Planning Review* 21 (1):3-17.
- Coghlan, H.H. 1975. "Notes on the Prehoatoric Metallurgy of Copper and Bronzes in the Old World". T.K. Penniman and B.M.Blackwood (ed.). *Occasional Paper on Technology* 4, 2nd ed. Oxford University Press.
- Haryono, Timbul. 1983. "Studi Arkeometalurgi dalam Disiplin Arkeologi" dalam *Berkala Arkeologi* IV (2). Balai Arkeologi Yogyakarta
- . 1983. "Analisis Elemental Benda-benda Perunggu Situs Gunungwingko: Evaluasi Metalurgi" dalam *Rapat Evaluasi Hasil Penelitian Arkeologi II*, Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.
- . 1983. "Metode Penelitian Artefak Logam: Referensi Khusus pada Analisis Mikrografis" dalam *Rapat Evaluasi Metode Penelitian Arkeologi II*. Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.
- . 1994. "Aspek Teknis dan Simbolis Artefak Perunggu Jawa Kuno Abad VIII-X". Disertasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Timbul Haryono

- Hodges, Henry. 1975. *Artifacts: An Introduction to Early Materials and Technology*. London: John Baker.
- Knauth, Percy. 1974. *The Metalsmiths*. New York: Time-Life Books.
- Pigott, Vincent Charles. 1980. "The Adoption of Iron in Western Iran in the Early First Millenium BC: An Archaeometallurgical Study". Dissertation University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Rosenfeld, Andree. 1965. *The Inorganic Raw Materials of Antiquity*. London: Wiedenfeld and Nicholson.
- Sharer, Robert J. dan Wendy Ashmore. 1975. *Fundamentals of Archaeology*. California: The Benjamin/Cumming Publishing Company, Inc.
- Smith, Cyril Stanley. 1981. *A Search for Structure*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Smith, Morton C. 1956. *Alloys Series in Physical Metallurgy*. New York: Harper & Brothers.
- Wailes, Bernard. 1996. "V. Gordon Childe and the Relations of Production". Bernard Wailes (ed.). *Craft Specialization and Social Evolution: In Memory of V. Gordon Childe*. Philadelphia: The University of Archaeology and Anthropology University of Pennsylvania.
- Wertime, Th. A. 1964. "Man's First Encounters with Metallurgy" in *Science* 146: 1257-1267.
- Wheeler, Tamara Stech, Robert Maddin, James Muhly. 1979. "Ancient Metallurgy: Materials and Techniques" in *Journal of Metal* 31 (9):16-18.