

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI TUNGKU LEBUR LOGAM BESI PADA ZAMAN KUNO DI INDONESIA

Development of Technology Ferrous Metal Melting Furnace Ancient Times in Indonesia

Harry Octavianus Sofian

*Pusat Penelitian Arkeologi Nasional, Jl. Condet Pejaten No 4 Jakarta Selatan, Indonesia
harry.octa@gmail.com*

Naskah diterima : 6 Desember 2021
Naskah diperiksa : 10 Desember 2021
Naskah disetujui : 15 Desember 2021

Abstract. *Technological knowledge of the use of metals is inseparable from human knowledge in the processing pyrotechnics of fire as a power in high temperature processes for producing objects. The fire is used for smelting and casting in melting furnaces. Metal smelting furnace is a heat production device, which is used to purify the metal, in this case iron. This paper aims to determine the development of ferrous metal smelting furnace technology in Indonesia with the library research method from the results of previous studies. Based on the results of the analysis, there are four technologies for smelting iron, namely pit kiln, bloomery furnace, blast furnace, and induction furnace. Of the four technologies, three are in use in Indonesia, namely bloomery furnace, blast furnace, and induction furnace.*

Keywords: *technology, smelting furnace, iron, metal, Indonesia*

Abstrak. Pengetahuan teknologi penggunaan logam tidak terlepas dari pengetahuan manusia dalam memproses *pyrotechnology* api sebagai tenaga dalam proses suhu tinggi untuk produksi benda. Api digunakan dalam proses peleburan dan pengecoran logam dalam tungku peleburan. Tungku peleburan logam adalah alat untuk memproduksi panas yang digunakan untuk memurnikan logam, dalam hal ini besi. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan teknologi tungku lebur logam besi di Indonesia dengan metode *library research* dari hasil-hasil penelitian terdahulu. Berdasarkan hasil analisis, terdapat empat teknologi tungku lebur besi, yaitu *pit kiln*, *bloomery furnace* *blast furnace* serta *induction furnace*. Dari keempat teknologi tersebut, tiga teknologi tungku lebur digunakan di Indonesia, yaitu *bloomery furnace*, *blast furnace* serta *induction furnace*.

Kata kunci: teknologi, tungku lebur, besi, logam, Indonesia

1. Pendahuluan

Logam telah dikenal oleh manusia setidaknya-tidaknya pada abad 9.000 SM–7.000 SM di wilayah Ali Kosh, Iran Barat dan Cayönü Tepesi, dekat Ergani di Anatolia yang merupakan bagian dari negara Turki (Tylecote 1992). Mineral pertama yang digunakan oleh manusia adalah *malachite* (ore tembaga yang berwarna hijau) dan *azurite* (ore tembaga yang berwarna biru) sebagai ornamen atau perhiasan. Manusia tertarik memanfaatkan warna-warna yang dimiliki oleh mineral-mineral tersebut. Tembaga (Latin: *Cu*) adalah logam pertama yang dimanfaatkan manusia untuk membuat benda dari logam kemudian menjadi komoditas penting dalam perdagangan. Setelah penemuan tembaga, kemudian diikuti dengan penemuan besi (Fe), timah putih (Sn), timah hitam (Pb), emas (Au), dan perak (Ag) (Tylecote. 1992; Bayley et al. 2008). Membuat benda dari logam memiliki proses yang panjang. Setidaknya-tidaknya ada lima tahap yang diperlukan dalam membuat benda logam yaitu, menambang bahan ore, mempersiapkan *ore* untuk dilebur, melebur *ore* ke *ingot*, melebur logam dari *ingot*, dan tahap akhir adalah benda yang dihasilkan (Killick. 2014). Berdasarkan teknik produksinya, logam dapat dibedakan menjadi dua teknik, yaitu teknik cor dan teknik tempa (England 2001).

Penemuan logam untuk membuat artefak yang mulanya didominasi oleh artefak batu, tulang, dan gerabah telah membuat ragam variasi benda-benda hasil karya manusia. Pengetahuan teknologi penggunaan logam tidak terlepas dari pengetahuan manusia dalam memproses dan memanfaatkan api sebagai alat dalam proses suhu tinggi untuk produksi bahan anorganik (Roberts dan Radivojević 2015). Untuk proses peleburan dan pengecoran logam, yaitu mengubah logam dari fasa padat menjadi fasa cair, perlu menggunakan suatu alat yang dapat memanfaatkan api, yaitu tungku peleburan. Tungku peleburan adalah alat untuk memproduksi panas, pengertian

dalam bahasa Inggris yang disadur dari bahasa Perancis lama *formus* dari bahasa Latin *fornax* atau *fornacis* yang berarti tungku (*furnace*, *oven* atau *kiln*) (Lucas 2011). Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan sejarah teknologi tungku lebur logam besi yang ada di dunia serta teknologi tungku lebur logam besi apa saja yang telah di temukan di Indonesia. Tungku peleburan tidak hanya dimanfaatkan untuk mengolah logam saja, tetapi juga untuk pembakaran dan pelapisan keramik, gerabah, peleburan tembaga, perunggu, besi, produksi kaca, semen, dan baja sehingga pengetahuan ini juga dinamakan *pyrotechnology*, pengetahuan tentang proses dan memanfaatkan api oleh manusia (Roberts dan Radivojević 2015).

Inovasi dalam *pyrotechnology* ini memungkinkan produksi tembikar, peralatan, dan senjata, dirangsang oleh pembentukan sejumlah jaringan perdagangan yang luas di zaman kuno mulai dari Eurasia dan Afrika, dan di Amerika pra-Columbus, dari India, China, Asia Tenggara daratan hingga ke Asia Tenggara kepulauan. Berdasarkan kronologi, pengetahuan penggunaan logam perunggu dan besi yang muncul di kawasan Asia Tenggara secara hampir bersamaan membuat kawasan Asia Tenggara daratan dan kepulauan hanya mengenal Zaman Perunggu-Besi (Higham et al. 2011a; van Heekeren 1958). Hal ini berbeda dengan kronologi di kawasan Eropa yang mengenal pembagian Zaman Tembaga (*chalcolithic*) dan Zaman Perunggu-Besi (*bronze* dan *iron age*) (Rowan dan Lovell 2011). Kawasan Asia Tenggara tidak mengenal Zaman Tembaga karena pengetahuan logam dari kawasan Asia Tengah dan Cina yang masuk secara bersamaan yang langsung memperkenalkan pengetahuan mengolah logam tembaga dan timah menjadi perunggu pada masa lebih baru (C. Higham et al. 2011b; White dan Hamilton 2009). Pengetahuan mengolah logam di kawasan Asia Tenggara telah di kenal sejak 1300--1100 SM, yaitu mengolah logam perunggu (logam campuran

tembaga dengan timah putih, timah hitam maupun arsenik) dan mengolah logam besi yang dikenal sejak 500 SM (C. F. W. Higham, Douka, dan Higham 2015). Di kawasan Nusantara, pengetahuan logam perunggu dan besi telah dikenal oleh masyarakat setidaknya sejak 300 SM. Hal ini sejalan dengan apa yang disebut sebagai “ledakan” pengetahuan teknologi logam di kawasan Asia Tenggara, yang hanya dalam waktu kurang lebih 500 tahun, penyebaran dan penggunaan logam telah tersebar luas di kawasan Asia Tenggara daratan dan kepulauan (Higham et al. 2020; Calo et al. 2015;).

Situs-situs peleburan logam, khususnya besi, telah ditemukan melalui penggalian arkeologi yang dilakukan oleh para peneliti. Situs-situs peleburan besi seperti di Hulu Sungai Barito di wilayah Sungai Montalat, Kalimantan Tengah, yang telah diteliti tahun 2017--2019 telah menemukan 19 situs peleburan logam besi, bahkan pada tahun 2019 telah dilakukan penelitian eksperimen untuk melebur besi berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Dari hasil pertanggalan C14 dapat diketahui jika peleburan besi telah dilakukan di Kalimantan setidaknya mulai abad ke 14--19 Masehi (Hartatik et al. 2021). Selain di Kalimantan, situs peleburan besi juga terdapat di Matano, Sulawesi Tengah yang terkenal dengan besi yang mengandung nikel setidaknya sejak masa Kerajaan Majapahit yang dikenal sebagai pamor luwu sebagai bahan pembuatan keris telah memproduksi logam besi sejak abad ke 8 Masehi di Situs Pulau Ampat (Adhityatama et al. 2021).

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah metode studi pustaka (*library research*). Studi pustaka dapat diartikan metode pengumpulan data berasal dari perpustakaan, baik berupa buku, ensiklopedi, kamus, jurnal, dokumen, majalah dan lain sebagainya (Nursapia 2014). Data pustaka

yang disajikan melalui dokumen-dokumen, baik dokumen tertulis, foto-foto, gambar, maupun dokumen elektronik yang dapat mendukung dalam proses penulisan. Tulisan ini fokus pada tungku lebur besi, di mana hasil analisis dan sintesa dapat menjabarkan tipe teknologi tungku lebur logam besi dari masa lalu sampai saat ini yang ditemukan di wilayah Indonesia sehingga dapat di pahami proses perkembangan teknologi tungku lebur besi yang ada di Indonesia.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian logam tidak hanya terfokus pada artefaknya saja. Melalui ilmu arkeometalurgi yang merupakan sub cabang ilmu arkeologi yang memfokuskan pada produksi dan distribusi logam, mulai dari sumber, teknik, sampai kepada produksi logam untuk mengetahui aktivitas dan interaksi manusia masa lalu dengan logam serta perubahan sosial budaya yang terjadi saat manusia mengenal dan menggunakan logam (Society 2008; Pryce et al. 2018). Dalam perkembangannya, logam telah dikembangkan oleh manusia untuk berbagai keperluan dan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, antara lain untuk keperluan militer dan perang, sebagai benda hias dan seremonial, sebagai alat tukar dan ekonomi serta sarana untuk membangun peradaban. Perkembangan tersebut dari tahap yang sangat sederhana sampai kepada tahap yang modern. Dalam perkembangannya, teknologi tungku lebur dapat dibedakan dari bahan untuk membuat tungku, serta bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan logam yang dapat dijabarkan sebagai berikut.

3.1 Pit Kiln (Tungku Lubang)

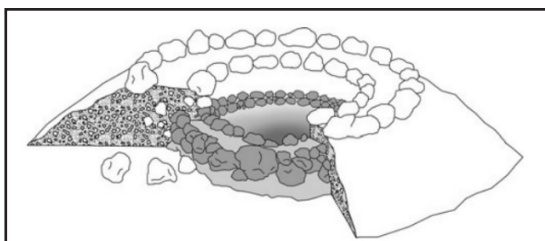
Tungku lebur logam paling awal yang digunakan untuk melebur logam tembaga (Cu) adalah *pit kiln*. Tungku ini tidak memungkinkan terak (*slag*) atau limbah produk dari proses peleburan untuk dipisahkan dari tungku selama proses peleburan, harus dihancurkan sebagian

atau seluruh tungku untuk mengambil logam yang dilebur. *Pit kiln* dibuat dari membuat lubang di atas tanah yang kadang dilapisi dengan batu, pasir atau tanah liat, bijih logam (*ore*) ditempatkan di bagian bawah lubang yang kemudian ditumpuk sedemikian rupa dengan bahan bakar (*fuel*) yang dapat berupa kayu dan arang atau jerami untuk memungkinkan aliran udara mengintensifkan panas api setelah bahan bakar dinyalakan.

Pit kiln tidak dapat digunakan untuk melebur logam besi karena bukan merupakan tungku tertutup yang dapat menampung suhu yang sangat panas, maksimum suhu yang dapat dicapai dari *pit kiln* antara 900-1000° celcius (Maggetti et al. 2011), sedangkan suhu yang diperlukan agar logam besi dapat melebur dibutuhkan lebih dari 1.500° celcius.

Tabel 1. Daftar titik lebur logam dalam derajat celcius (Piwonka 1998)

No.	Nama Logam	Titik Lebur °celcius
1	Tembaga (Cu)	1083
2	Seng (Zn)	420
3	Timah (Sn)	232
4	Timbal (Pb)	330
5	Nikel (Ni)	1450
6	Aluminium (Al)	660
7	Besi (Fe)	1535



Gambar 1. Contoh pit kiln dari situs Kiuic masa Prehispanic Maya di Meso Amerika (Sumber: Seligson et al 2019)

Selain untuk melebur logam dengan titik lebur rendah sampai sedang, *pit kiln* juga digunakan untuk membuat benda-benda lain seperti pembuatan gerabah, *stoneware*, serta

arang yang memerlukan temperatur suhu yang tidak terlalu tinggi. *Pit kiln* banyak ditemukan di wilayah situs-situs arkeologi, antara lain di Timna, Israel, situs-situs logam di wilayah Mesir serta situs-situs logam di wilayah Irak, Turki serta Lebanon juga menyebar ke wilayah Barat Eropa, Afrika Barat, China, India serta Amerika Tengah (Lucas 2011).

3.2 Bloomery Furnace (Tungku Tempa)

Teknologi tungku peleburan besi yang paling tua ditemukan di Cina, di makam Tianma-Qucun di provinsi Shanxi dan Liuhe di provinsi Jiangsu, dating 8th SM (Qian dan Huang 2021). Tungku tempa yang berevolusi dari *pit kiln* menyebar karena lebih efektif untuk melebur logam dengan suhu yang lebih tinggi. Tungku tempa adalah tungku yang digunakan secara luas untuk proses peleburan besi dari unsur oksida. Tungku tempa merupakan peralatan paling primitif yang bisa meleburkan bijih besi yang memiliki struktur seperti cerobong asap yang terbuat dari tanah, tanah liat, atau batu yang dibangun ke dalam lubang tanah. Di dekat dasar cerobong asap, satu atau lebih *tuyères* tanah liat diatur untuk memungkinkan masuknya udara ke dalam tungku, udara dapat dimasukkan secara paksa menggunakan *blower* (pompa udara). Tungku tempa dapat memproduksi sebuah gumpalan besi berpori dan terak (*slag*) yang disebut besi tempaan (*bloom*). Campuran terak dan besi pada besi tempaan disebut besi spons (*sponge iron*), yang dikumpulkan dan selanjutnya ditempa menjadi besi tempa untuk membuatnya lebih kompak dan menghilangkan kotoran yang tersisa (Lucas 2011).

Besi murni dapat melebur pada suhu 1.535° celcius, kandungan karbon dari bahan bakar yang digunakan untuk melebur bijih besi dapat menurunkan titik lebur menjadi 1.150° celcius. Suhu ini dapat dihasilkan dengan bergantung pada rasio bahan bakar dan bijih besi, lokasi *tuyère*, suhu tungku, dan lingkungan selama peleburan (Lucas 2011).

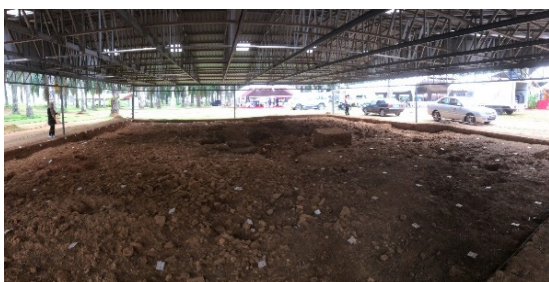
Tungku tempa biasanya terbuat dari tanah liat yang dibangun menyerupai cerobong yang diberi pipa udara pada bagian badannya. Bahan bakar yang digunakan dalam proses peleburan adalah arang (Haubner et al. 2014).

Arang adalah bahan padat yang berpori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung unsur karbon. Sebagian besar dari pori-porinya masih tertutup dengan hidrokarbon dan senyawa organik lainnya. Keuntungan kayu sebagai bahan pembakaran adalah pada umumnya kandungan abu dan belerang yang rendah (Nabawiyah dan Abtokhi 2010).



Gambar 2. Bloomery furnace eksperimen pada Festival Kedah Tua Malaysia 2016 (Sumber: Sofian 2016)

Tungku tempa memiliki kelemahan dalam jumlah produksi logam dalam satu tungku tempa tidak terlalu besar jumlahnya. Mengingat kapasitas produksi logam yang kecil dalam satu tungku, maka untuk membuat skala yang lebih besar diperlukan banyak tungku tempa yang mencukupi kebutuhan produksi logam. Situs peleburan besi Sungai Batu di Kedah,

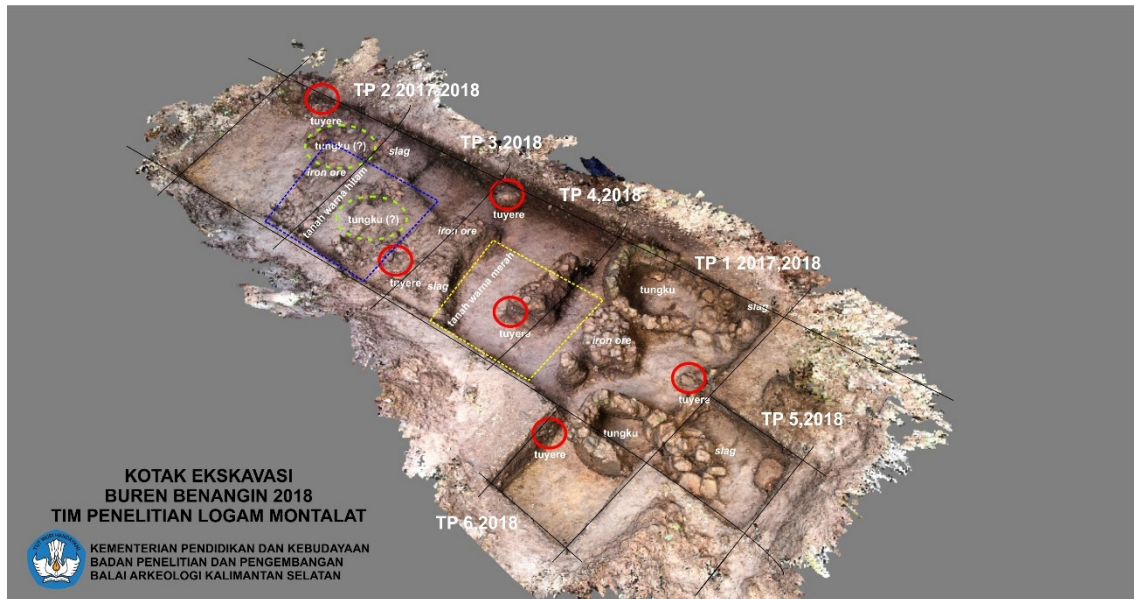


Gambar 3. Sebaran tungku tempa dan tuyère di Situs Sungai Batu, Kedah Malaysia (Sumber: Sofian. 2016)

Malaysia memiliki sebaran tungku tempa dan tuyère yang banyak, di situs ini tungku tempa logam tidak di buat masif/besar.

Tungku tempa yang hampir serupa dengan tungku tempa di Sungai Batu, Malaysia juga ditemukan di wilayah Kalimantan Tengah yang berasal dari abad ke 14 - 19 Masehi. Tungku tempa Kalimantan juga memiliki tuyère sebagaimana yang di temukan di Sungai Batu, untuk bahan bakar tungku tempa Kalimantan menggunakan arang serta bahan baku dari batu laterit dan hematit. Produksi besi pada tungku tempa Kalimantan dilakukan proses pemurnian sebanyak dua kali untuk mendapatkan hasil produksi besi yang murni (Hartatik et al. 2021).

Selain memiliki kelemahan, tungku tempa juga memiliki kelebihan, yaitu mudah untuk dibuat karena dapat dibuat dari tanah liat dan tidak memerlukan teknologi yang rumit. Pembuatannya hanya menggunakan arang sebagai bahan bakar, tetapi memiliki suhu yang memiliki titik lebur yang cocok untuk melebur bijih besi. Kapasitas produksi besi dengan tungku tempa terus ditingkatkan. Apa yang disebut penempaan Catalan (*Catalan forge*) mewakili kemajuan besar dalam teknologi peleburan besi. Telah diklaim bahwa sebelumnya bloomery furnace hanya mampu memproduksi maksimum 22 kg besi pada satu waktu, Catalan forge dapat menghasilkan 160 kg selama periode lima jam, penemuan ini sangat meningkatkan laju produksi besi (Tomàs 1999; Lucas 2011). Tahun 1350 Masehi di wilayah Nuremberg Jerman, mulai berkembang tungku yang lebih besar dengan poros yang lebih panjang yang dapat mencapai suhu yang lebih tinggi dan diaktifkan kontrol kualitas yang lebih baik yang disebut tungku 'Stückofen'. Tungku ini dapat melebur kandungan bijih besi dengan produksi besi yang relatif besar (Fischer et al. 1999). Sekitar tahun 1500 Masehi, tungku yang lebih besar yang dikenal sebagai 'flobofen' dikembangkan, dengan kapasitas 600 hingga 700 kg. Kapasitas produksi yang besar ini digunakan untuk



Gambar 4. Tungku tempa Kalimantan di Situs Buren Benangin (Sumber: Hartatik et al. 2018)

berbagai keperluan, seperti peralatan militer, penggunaan bahan bangunan, kebutuhan rumah tangga, dan kebutuhan pelayaran. Perkembangan ini memastikan bahwa Jerman Selatan tetap menjadi pusat utama produksi baja dan besi di seluruh Eropa dari sekitar tahun 1350 hingga 1650 Masehi (Lucas 2011).

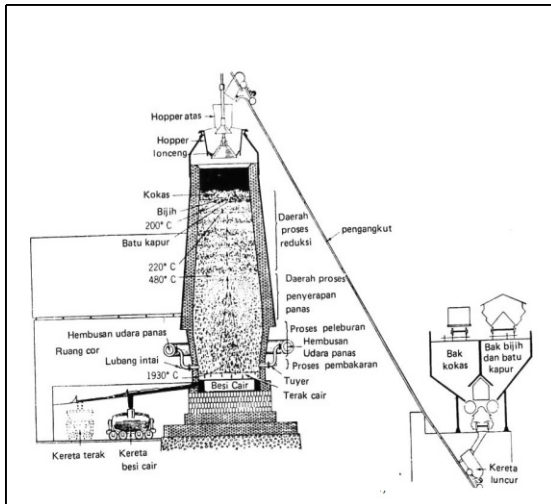
3.3 Blast Furnace (Tungku/Tanur Tinggi)

Blast furnace adalah pengembangan dari *bloomery iron* dimana temperatur internal di dalam tungku dinaikkan dengan memasukkan udara panas terkompresi ke dalam tungku. Hal ini merupakan bagian utama teknik peleburan bijih besi untuk menghasilkan besi cair. Berdasarkan catatan arkeologi, Cina telah mengenal *blast furnace* sejak masa Dinasti Han pada abad ke-5 SM, kemudian berkembang sampai abad ke-1 SM. Namun, hal ini tidak dapat dibuktikan bahwa besi tersebut diproduksi dengan menggunakan tanur tinggi (Qian dan Huang 2021). Bukti awal penggunaan tanur tinggi dengan bukti yang cukup meyakinkan adalah pada masa Dinasti Song sekitar abad ke 10-Masehi dengan ditemukannya tungku tiup setinggi 6 meter di wilayah Handan, Hebei, China. Selain itu, tanur tinggi yang digunakan tidak

menggunakan bahan bakar arang, tetapi batu bara (Wagner 2001). Bukti penggunaan awal tanur tinggi di Eropa ditemukan di Lapphyttan, Swedia. Para ahli arkeologi menemukan bukti untuk peleburan besi kompleks yang aktif di sana antara tahun 1150 dan 1350 Masehi (Lucas 2011).

Dalam tanur tinggi, bahan bakar (kokas), bijih, dan *fluks* (batu kapur) disuplai terus menerus melalui bagian atas tanur, sementara semburan udara panas (kadang-kadang dengan pengayaan oksigen) dihembuskan ke bagian bawah tanur melalui rangkaian pipa yang disebut *tuyère* sehingga reaksi kimianya berlangsung di seluruh tungku saat material jatuh ke bawah. Udara panas yang dimasukkan ke dalam dapur akan membakar sebagian bahan bakar kokas yang terletak di bagian bawah dapur. Pembakaran ini menghasilkan panas tinggi dan gas karbon monoksida. Gas karbon monoksida menguap ke puncak dapur sambil mereduksi oksida besi yang terdapat dalam bijih besi. Oksida besi yang dihasilkan tetap dalam keadaan padat atau belum cair karena temperatur dapur dalam keadaan padat atau belum cair hanya sekitar 600°C sedangkan titik cair besi sekitar 1.500-1.600°C. Pada waktu dapur mencapai temperatur

tinggi akan terjadi proses peleburan bijih besi dan penyerapan unsur karbon oleh besi cairan sehingga akan dihasilkan suatu besi cair yang terdiri dari campuran besi dan karbon (Fe-C) (Samlawi dan Siswanto 2016).

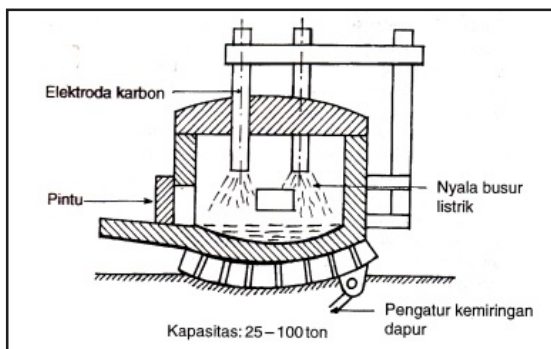


Gambar 5. Tanur tinggi
(Sumber: Samlawi dan Siswanto 2016)

Teknologi tanur tinggi saat ini masih digunakan dengan pengembangan-pengembangan yang ada, seperti bahan baku tanur tinggi yang berubah dari tanah liat menjadi bata serta pada tungku lebur modern yang dikenal pada saat ini berasal dari pengembangan *blast furnace* (Lucas 2011; Samlawi dan Siswanto 2016).

3.4 Induction Furnace (Tungku/Tanur Induksi)

Tanur induksi adalah tungku listrik di mana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam yang menggunakan listrik.



Gambar 6. Tanur listrik busur nyala
(Sumber: Samlawi dan Siswanto 2016)

Adapun keuntungan menggunakan tungku induksi antara lain mudah mencapai temperatur tinggi dalam waktu singkat, temperatur dapat diatur, efisiensi termis tanur tinggi, cairan besi terlindungi dari kotoran dan pengaruh lingkungan sehingga kualitasnya baik, kerugian akibat penguapan sangat kecil, kapasitas produksi besar yaitu 25 - 100 ton (Samlawi dan Siswanto 2016).

Tanur induksi merupakan lompatan besar dalam teknologi peleburan logam, khususnya besi. Pembuatan tanur induksi didasari oleh hukum induksi Faraday (1831) dan teori medan elektromagnetik Maxwell (1873). Tanur induksi pertama kemudian digagas oleh Tz. Verant pada tahun 1887. Ia membuat tanur berdasarkan prinsip kerja transformator. Kumputan kedua berbentuk cincin yang berinti baja dijadikan sebagai saluran cairan logam. Tanur ini belum dapat digunakan secara langsung di industri peleburan logam. Pada tahun 1900, tanur induksi dengan kanal horizontal berhasil dibuat untuk keperluan industri. Setelahnya, para ahli teknik listrik mengembangkan berbagai studi tentang tanur induksi. Pada tahun 1908, A.N. Lodygin berhasil mengembangkan tanur induksi untuk industri. Tanur induksi buatan Lodygin kemudian mulai digunakan di banyak industri peleburan logam pada awal abad ke-20 (Kerkhoeven 2019). Tanur induksi terdiri dari dua jenis, yaitu tanur listrik busur nyala dan tanur induksi frekuensi tinggi (Samlawi dan Siswanto 2016).

Dari penjabaran teknologi tungku lebur yang telah dikemukakan di atas, teknologi tungku lebur logam semakin maju dan efisien. Penggunaan api sebagai alat untuk melebur serta memurnikan logam besi memerlukan tempat atau tungku yang efisien sekaligus memiliki kapasitas produksi yang besar. Proses peleburan besi dengan menggunakan *bloomery furnace* telah dikenal di Indonesia berdasarkan data-data arkeologi yang dimiliki di situs peleburan besi di wilayah Sulawesi Tengah di Situs Pulau Ampat (Adhityatama et al. 2021)

Montalat, Kalimantan Tengah (Hartatik et al. 2017) serta di wilayah Maridan, Kalimantan Timur (Simanjuntak et al. 2020). Proses alih pengetahuan cara melakukan proses peleburan besi dapat terjadi dengan adanya kontak dengan masyarakat yang telah mengenal proses pembuatan logam.

Penemuan (*invention*) dan alih transfer pengetahuan cara pembuatan logam juga diikuti dengan inovasi (*innovation*) lokal untuk mengembangkan cara pembuatan logam secara lokal (Roberts dan Radivojević 2015). Penemuan situs peleburan logam besi di hulu Sungai Barito memberikan informasi adanya inovasi untuk membuat besi menjadi lebih murni dengan melakukan dua kali proses peleburan besi agar kotoran yang ikut pada proses pertama kali peleburan akan terlepas pada proses kedua peleburan sehingga besi yang didapatkan adalah besi yang lebih baik dan murni (Hartatik et al. 2018).



Gambar 7. Tungku tempa Situs Buren Benangin yang memiliki dua tungku untuk proses peleburan besi
(Sumber: Hartatik et al. 2018)



Gambar 8. Ilustrasi pola aliran udara yang dihembuskan dalam tungku yang berbentuk bulat di Buren Temelalo
(Sumber: Hartatik et al. 2018)

Selain adanya inovasi dengan membuat dua tungku untuk proses pemurnian logam besi, ada pula bentuk dari tungku yang tidak lazim, yaitu berbentuk persegi pada bagian dalam. Pembakaran dalam ruang tungku berbentuk persegi tidak terlalu maksimal karena dinding persegi yang memantulkan udara. Namun, berdasarkan eksperimen yang dilakukan tahun 2019 dalam pembuatan tungku tempa besi, sisi kepraktisan pembuatan tungku menjadi bahan pertimbangan, untuk membuat satu tungku tempa besi berbahan tanah liat diperlukan waktu kurang dari satu jam hingga tungku tersebut jadi dan akan siap digunakan (Hartatik et al. 2018, 2019).

4. Penutup

Perkembangan teknologi tungku lebur logam besi tidak terlepas dari perkembangan penemuan dan inovasi yang dilakukan manusia untuk mendapatkan hasil pemurnian logam besi yang lebih baik. Berdasarkan data-data hasil penelitian arkeologi mengenai arkeometalurgi di Indonesia, setidaknya masyarakat Indonesia telah mengenal proses peleburan logam besi sejak abad ke-8 Masehi di wilayah Sulawesi dan Kalimantan dari abad ke-14 hingga abad ke-19 Masehi dengan menggunakan teknologi tungku tempa (*bloomery iron*). Pengetahuan peleburan logam mungkin didapatkan dari kontak dengan orang luar yang memiliki pengetahuan mengolah logam yang mengajarkan kepada orang lokal yang kemudian diaplikasikan lagi secara kreatif agar dapat disesuaikan dengan kondisi setempat sehingga akan didapat hasil yang diinginkan.

Pengetahuan tentang tungku lebur besi di Indonesia belum mengenal *pit kiln* (tungku lubang). Hal ini sejalan dengan pengetahuan peleburan logam di Indonesia yang hanya mengenal masa Perunggu-Besi, di mana *pit kiln* hanya digunakan untuk melebur tembaga saja pada masa Chalcolithic di wilayah Eropa. Tungku lebur logam besi yang dikenal di Indonesia secara umum ada tiga jenis, yaitu

bloomery iron (tungku tempa), *blast furnace* (tungku/tanur tinggi), dan *induction furnace* (tungku/tanur induksi) yang juga diikuti dengan kapasitas produksi mulai dari skala kecil dalam kilogram sampai skala industri dalam ton. *Bloomery iron* sudah dikenal sebelum kedatangan bangsa Eropa ke Indonesia, sedangkan *blast furnace* dan *induction furnace* diperkenalkan oleh bangsa Eropa pada masa kolonial Belanda dan masa kemerdekaan di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Adhityatama, Shinatria, R R Triwujani, Dida Yurnaldi, Renee Janssen, Muslim Dimas Khoiru Dhony, Suryatman, Abdullah Abbas, Alqiz Lukman, dan David Bulbeck. 2021. "Pulau Ampat Site: A Submerged 8th Century Iron Production Village in Matano Lake, South Sulawesi, Indonesia." *Archaeological Research in Asia*, 100335. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ara.2021.100335>.
- Bayley, Justine, David Crossley, and Matthew Ponting. 2008. *Metals and Metalworking: A Research Framework for Archaeometallurgy*. London: The Historical Metallurgy Society.
- Calo, Ambra, Bagyo Prasetyo, Peter Bellwood, James W Lankton, Bernard Gratuze, Oliver Pryce, Andreas Reinecke, et al. 2015. "Sembiran and Pacung on the North Coast of Bali : A Strategic Crossroads for Early Trans-Asiatic Exchange How to Cite This Article : Sembiran and Pacung on the North Coast of Bali : A Strategic Crossroads for Early Trans-Asiatic Exchange," 378–96. doi:10.15184/aqy.2014.45.
- England, Historic. 2001. "Centre for Archaeology Guidelines: Archaeometallurgy | Historic England." Historic England. <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/archaeometallurgy/>.
- Fischer, A.J, G.A Irons, R Brown, P Kuuskman, J.J Poveromo, F.C Rorick, and S Sostar. 1999. "An Intensive Course Blast Furnace Ironmaking June 7-11, 1999." Volume One. Design And Raw Materials. Ontario.
- Hartatik, H O Sofian, Sunarningsih, N N Susanto, and R B Sulistiyo. 2021. "The Sustainability of the Iron Industry Based on Local Wisdom in the Barito Watershed." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 980 (January): 012046. doi:10.1088/1757-899X/980/1/012046.
- Hartatik, Harry Octavianus Sofian, Sunarningsih, Gauri Vidya Dhaneswara, Nugroho Nur Susanto, Restu Budi Sulisty, and Agus Karyanantio. 2019. "Teknik Pembuatan Alat Logam Kuno Dan Pemanfaatan Situsnya Di Das Montalat, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah : Studi Eksperimental Dan Arkeologi Publik." Banjarmasin.
- Hartatik, Harry Octavianus Sofian, Nugroho Nur Sunarningsih Susanto, dan Sulisty Restu Budi. 2018. "Pengerjaan Alat Logam Kuno di DAS Montalat, Kabupaten Barito Utara Kalimantan Tengah Pendekatan Etnoarkeologi dan Arkeologi Publik." Banjarmasin.
- Hartatik, Nugroho Nur Susanto, Harry Octavianus Sofian, Eko Herwanto, Restu Budi Sulisty, dan Gauri Vidya Dhaneswara. 2017. "Jejak Pengerjaan Logam Montalat di Kabupaten Barito Utara Kalimantan Tengah." Banjarmasin.
- Haubner, Roland, Irmgard Schatz, Franz Schatz, Wolfgang Scheiblechner, Wolf Dieter Schubert, and Susanne Strobl. 2014. "Archaeometallurgical Simulations of

- the Processes in Bloomery Furnaces from the Hallstatt and Medieval Period.” *Materials Science Forum* 782 (April): 641–44. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.782.641.
- Heekeren, H R van. 1958. *The Bronze-Iron Age of Indonesia*. VKI, XXI. S-Gravenhage-Martinus Nijhoff.
- Higham, Charles F.W., Katerina Douka, and Thomas F.G. Higham. 2015. “A New Chronology for the Bronze Age of Northeastern Thailand and Its Implications for Southeast Asian Prehistory.” Edited by John P. Hart. *PLoS ONE* 10 (9). Public Library of Science: e0137542. doi:10.1371/journal.pone.0137542.
- Higham, Charles, Thomas Higham, Roberto Ciarla, Katerina Douka, Ampham Kijngam, and Fiorella Rispoli. 2011a. “The Origins of the Bronze Age of Southeast Asia.” *Journal of World Prehistory* 24 (4): 227–74. doi:10.1007/s10963-011-9054-6.
- . 2011b. “The Origins of the Bronze Age of Southeast Asia.” *Journal of World Prehistory* 24 (4). Springer US: 227–74. doi:10.1007/s10963-011-9054-6.
- Higham, Thomas F.G., Andrew D. Weiss, Charles F.W. Higham, Christopher Bronk Ramsey, Jade d’Alpoim Guedes, Sydney Hanson, Steven A. Weber, et al. 2020. “A Prehistoric Copper-Production Centre in Central Thailand: Its Dating and Wider Implications.” *Antiquity* 94 (376): 948–65. doi:10.15184/aqy.2020.120.
- Historical Metallurgy Society. 2008. *Metals and Metalworking: A Research Framework for Archaeometallurgy*. Historical Metallurgy Society Occasional Publication. Vol. 6. HMS Occasional Publication. United Kingdom: The Historical Metallurgy Society.
- Kerkhoeven, Sofyan Asmadiredja. 2019. *Elektro Metalurgi Besi Baja Dan Panduan Besi Peleburan Besi Baja Dan Logam Non Ferrous Dalam Tanur Tanur Listrik Elektro*. Bandung: Alfabeta.
- Killick, David. 2014. “From Ores to Metals.” In *Archaeometallurgy in Global Perspective*, 11–45. New York, NY: Springer New York. doi:10.1007/978-1-4614-9017-3_2.
- Lucas, Adam. 2011. “Furnace.” In *Encyclopaedia of the History of Invention and Technology*. New York: Facts on File.
- Maggetti, M, Ch. Neururer, and D Ramseyer. 2011. “Temperature Evolution inside a Pot during Experimental Surface (Bonfire) Firing.” *Applied Clay Science* 53 (3): 500–508. doi:https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.09.013.
- Nabawiyah, Khilfatin, dan Ahmad Abtokhi. 2010. “Penentuan Nilai Kalor dengan bahan Bakar Kayu Sesudah Pengarangan serta Hubungannya dengan Nilai Porosiytas Zat Padat.” *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* 3 (1). <http://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/NEUTRINO/article/view/1625>.
- Naizatul Akma Mohd, dan Mokhtar Saidin. 2018. “Budaya Material Industri Besi di Kompleks Sungai Batu, Lembah Bujang, Kedah (Material Culture of Iron Industry In Sungai Batu Complex, Bujang Valley, Kedah).” *Jurnal Arkeologi Malaysia* 31 (2). Ikatan Ahli Arkeologi Malaysia. <http://spaj.ukm.my/jurnalarkeologi/index.php/jurnalarkeologi/article/view/186>.
- Nursapia. 2014. “Penelitian Kepustakaan.” *IQRA` : Jurnal Ilmu Perpustakaan Dan*

- Informasi (e-Journal)* 8 (1): 68–73. doi:10.30829/IQRA.V8I1.65.
- Piwonka, Thomas S. 1998. “Melting Methods.” In *Metals Handbook Desk Edition*, 751–58. ASM International. doi:10.31399/asm.hb.mhde2.a0003173.
- Pryce, Thomas Oliver, Kalayar Myat Myat Htwe, Myrto Georgakopoulou, Tiffany Martin, Enrique Vega, Thilo Rehren, Tin Tin Win, et al. 2018. “Metallurgical Traditions and Metal Exchange Networks in Late Prehistoric Central Myanmar, c. 1000 BC to c. AD 500.” *Archaeological and Anthropological Sciences* 10 (5). Springer Verlag: 1087–1109. doi:10.1007/s12520-016-0436-7.
- Qian, Wei, and Xing Huang. 2021. “Invention of Cast Iron Smelting in Early China: Archaeological Survey and Numerical Simulation.” *Advances in Archaeomaterials* 2 (1): 4–14. doi:10.1016/j.aia.2021.04.001.
- Roberts, Benjamin W., and Miljana Radivojević. 2015. “Invention as a Process: Pyrotechnologies in Early Societies.” *Cambridge Archaeological Journal* 25 (01): 299–306. doi:10.1017/S0959774314001188.
- Rowan, Yorke M., and Jaimie Lovell. 2011. “Introduction: *Culture, Technology and Chalcolithic*.” In *Culture, Technology and Chalcolithic Theory and Transition*. Oxbow Books.
- Samlawi, Achmad Kusairi, dan Rudi Siswanto. 2016. “Diktat Bahan Kuliah Material Teknik.” Banjarmasin.
- Seligson, Kenneth E., Soledad Ortiz Ruiz, and Luis Barba Pingarrón. 2019. “Prehispanic Maya Burnt Lime Industries: Previous Studies and Future Direction”. *Ancient Mesoamerica* 30 (2): 199–219. doi:10.1017/S0956536117000347.
- Simanjuntak, Truman, I Made Geria, Nana Mulyana, Titi Surti Nastiti, Unggul P. Wibowo, Harry Widiyanto, Bambang Budi Utomo, et al. 2020. “Menelusuri Jejak Peradaban di Wilayah Kabupaten Penajam Paser Utara Dan Kutai Kertanegara.” Jakarta.
- Tantowi, Nur Lutfi Rizky, Soedwihajono Soedwihajono, dan Ana Hardiana. 2019. “Pengaruh Perkembangan Industri Pengecoran Logam Skala Besar dan Sedang yang Teraglomerasi terhadap Perubahan Guna Lahan di Kecamatan Ceper, Kabu[at]aten Klaten”. *Desa-Kota* 1 (1): 49. doi:10.20961/desa-kota.v1i1.14868.49-59.
- Tomàs, Estanislau. 1999. “The Catalan Process for the Direct Production of Malleable Iron and Its Spread to Europe and the Americas.” *Contributions to Science* 1 (2): 225–32.
- Tylecote, R. F. 1977. “A History of Metallurgy.” *International Metals Reviews* 22 (1). Institute of Materials: 158–158. doi:10.1179/imtr.1977.22.1.157.
- Tylecote, R. F. 1992. *A History of Metallurgy*. Second Edi. Institute of Materials.
- Wagner, Donald B. 2001. “Blast Furnaces in Song – Yuan China,” 1–41.
- White, Joyce C, and Elizabeth G Hamilton. 2009. *The Transmission of Early Bronze Technology to Thailand: New Perspectives*. doi:10.1007/s10963-009-9029-z.



Tungku tempa Situs Buren Benangin yang memiliki dua tungku untuk proses peleburan besi