

Sistem *Monitoring* Temperatur Tuang Logam dan Penggunaan Energi Berbasis IoT di MIDC

(*Metal Pouring Temperature and Energy Usage Monitoring System with IoT in MIDC*)

Anugrah Erick Eryantono¹, *Muhammad Nauval Fauzi¹, Muhammad Fathurrohman¹

Abstract— Tough competition among metal casting industries requires the use of technology to produce high-quality products and large quantities with optimal production costs. Parameters that affect casting products are temperature at pouring time and pouring rate. The heat loss caused by the transfer of metal through the ladle and the influence of the surrounding environment that absorbs heat can cause a significant temperature drop. Therefore, a temperature monitoring system to monitor and record the rate of temperature decrease in real-time to obtain optimal casting results is needed, as well as a monitoring system for energy usage to reduce the cost of the production. Industrial revolution technology 4.0 in the metal casting industry, especially carbon steel and cast iron, can help operators to display data in real-time, store, process, and evaluate the data on cloud/server. This system is integrated using Internet of Things (IoT) technology. Database of casting parameters (pouring temperature and energy usage) obtained from measurements of sensors and stored in cloud is used for analysis and evaluation of the research. The results of the monitoring system analysis was expected to help reduce production cost in MIDC.

Intisari—Persaingan ketat antar pelaku industri pengecoran logam menuntut penggunaan teknologi pengecoran untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi dan kuantitas yang banyak dengan biaya produksi yang optimal. Beberapa parameter yang memengaruhi produk hasil pengecoran adalah temperatur saat penuangan serta laju penuangan. Temperatur tuang harus memperhitungkan kehilangan panas yang disebabkan oleh pemindahan logam melalui *ladle*, karena antara tungku dan cetakan ada jarak tertentu dan pengaruh lingkungan sekitar yang menyerap panas. Oleh karena itu, diperlukan sistem *monitoring* yang dapat memonitor laju penurunan temperatur saat penuangan secara *real time* serta terekam, sehingga dapat menjadi bahan analisis untuk memperoleh hasil pengecoran yang optimal. Serta diperlukan juga suatu sistem *monitoring* penggunaan energi saat proses pengecoran berlangsung, agar harga pokok produksi hasil coran dapat dikendalikan. Teknologi revolusi industri 4.0 pada industri pengecoran logam, khususnya baja karbon dan besi tuang/cor, dapat membantu, yaitu dengan penggunaan sistem *monitoring* temperatur tuang logam dan energi (daya kelistrikan) pada mesin tungku induksi saat proses pengecoran berlangsung. Sistem *monitoring* yang dirancang bertujuan untuk memudahkan operator menampilkan data secara *real time*, menyimpan, dan mengolah data serta

mengevaluasi data pada *cloud/server*. Sistem ini diintegrasikan dengan menggunakan teknologi *Internet of Things (IoT)*. Database parameter pengecoran (temperatur tuang dan penggunaan energi) yang didapat dari hasil pengukuran sensor-sensor dan tersimpan di *cloud* digunakan sebagai bahan analisis dan evaluasi penelitian di bidang pengecoran logam baja karbon dan besi tuang. Hasil analisis dari sistem *monitoring* ini diharapkan dapat membantu mengontrol penggunaan energi yang berlebihan di MIDC.

Kata Kunci— Sistem *Monitoring*, Temperatur, Penggunaan Energi, *Internet of Things*, Pengecoran, Industri 4.0, IoT.

I. PENDAHULUAN

Industri berbasis besi di Indonesia meningkat dengan sangat cepat seiring perkembangan teknologi industri dunia. Penelitian menunjukkan bahwa industri berbasis besi merupakan salah satu industri dengan konsumsi energi tertinggi, yaitu menggunakan sekitar 15% dari seluruh penggunaan energi di dunia [1]. Persaingan ketat di industri pengecoran dapat dilihat dari aplikasi berbagai jenis mesin produksi yang canggih dan pengendalian mutu yang cermat. Hal ini memacu para pelaku industri kecil menengah pengecoran logam untuk semakin meningkatkan kualitas produk maupun kapasitas produksinya. Namun, persaingan ini menimbulkan tantangan baru yang harus dihadapi, seperti kualitas dan ketersediaan bahan mentah, tuntutan terhadap akurasi hasil produk cor yang tinggi, persaingan harga, maupun masalah-masalah yang berkaitan dengan teknis maupun manajemen [1], [2].

A. Latar Belakang

Pengecoran adalah proses penuangan logam cair dengan memanfaatkan gaya gravitasi atau gaya lain ke dalam suatu cetakan, kemudian dibiarkan membeku, sehingga terbentuk logam padat sesuai dengan bentuk cetakannya. Beberapa parameter yang memengaruhi produk hasil pengecoran adalah temperatur saat penuangan (*pouring*) serta proses laju penuangan [3]. Temperatur tuang adalah temperatur pada saat logam cair harus dipindahkan ke dalam media tuang sebelum dituangkan ke dalam cetakan tersebut. Pengaturan temperatur tuang haruslah memperhitungkan kehilangan panas yang disebabkan oleh pemindahan logam melalui *ladle*, karena antara tungku dan cetakan ada jarak tertentu dan faktor *ladle* sendiri serta lingkungan yang menyerap panas. Selain proses penuangan, kontrol temperatur merupakan elemen penting dalam proses pengecoran logam. Menjaga temperatur pada tingkat yang konstan selama proses penuangan sangat penting

¹ Balai Besar Logam dan Mesin_Metal Industries Development Center (BBLM - MIDC) Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, Jl. Sangkuriang No. 12 Bandung, 40135 INDONESIA (Tlp: +62-22-250 3171; Fax: +62-22-250 3978; *e-mail: nauval911@gmail.com; nauval@kemenperin.go.id)

untuk memastikan kualitas dari produk coran. Logam cair yang terlalu panas menyebabkan perubahan sifat kimia dan fisik dari suatu produk. Jika temperatur terlalu rendah, logam cair tidak akan mengalir ke semua rongga dan lubang coran, sehingga menyebabkan tidak terpenuhinya dimensi produk dan cacat pada produk coran [3], [4].

Tujuan makalah ini adalah untuk mengaplikasikan sistem *monitoring* (temperatur tuang dan juga penggunaan energi pada tungku) berbasis IoT untuk mengoptimalkan proses pengecoran di MIDC. Revolusi industri 4.0 memiliki potensi untuk meningkatkan pendapatan global dan meningkatkan kualitas hidup bagi masyarakat dunia dan juga Indonesia, menghasilkan produk dengan biaya murah dan kompetitif, meningkatkan efisiensi dan produktivitas, menurunkan biaya transportasi dan komunikasi, meningkatkan efektivitas logistik dan rantai pasokan global, serta membuka pasar baru dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Mudahnya akses data terhadap data-data teknis mempermudah para peneliti untuk mengembangkan penelitiannya terutama pada bidang pengecoran, sehingga diharapkan kualitas penelitian dan hasil produk cor menjadi lebih baik dan dapat langsung diimplementasikan dalam kehidupan masyarakat Indonesia.

B. Article Review

Selama proses pengecoran, logam dipanaskan hingga titik leleh, yaitu lebih tinggi dari 1.400 °C, yang diperlukan dalam tungku pengecoran sebelum dituangkan ke dalam cetakan untuk meminimalkan pelepasan panas dari logam cair akibat proses pemindahan dari tungku ke dalam cetakan. Temperatur ini ditentukan berdasarkan jenis logam dan dimensi produk coran yang dibutuhkan, karena panas akan menghilang lebih cepat pada produk yang relatif tipis. Untuk produk yang tipis, proses penuangan perlu dilakukan lebih cepat daripada produk yang lebih tebal, sehingga logam cair tidak membeku terlebih dulu. Namun, ada juga beberapa prinsip umum yang berlaku untuk semua coran, yaitu jika penuangan dilakukan terlalu lambat, logam cair tidak akan mencapai semua rongga internal dan tepi, karena kurangnya tekanan dan pemadatan. Akan tetapi, jika logam dituang terlalu cepat, turbulensi dapat terjadi. Turbulensi melibatkan variasi kecepatan dan arah aliran yang tidak teratur ketika logam cair dialirkan melalui cetakan. Masalah ini dapat menyebabkan lekukan karena logam cair tidak mencapai semua bagian rongga cetakan dan dapat juga menyebabkan cacat pada produk [3], [5].

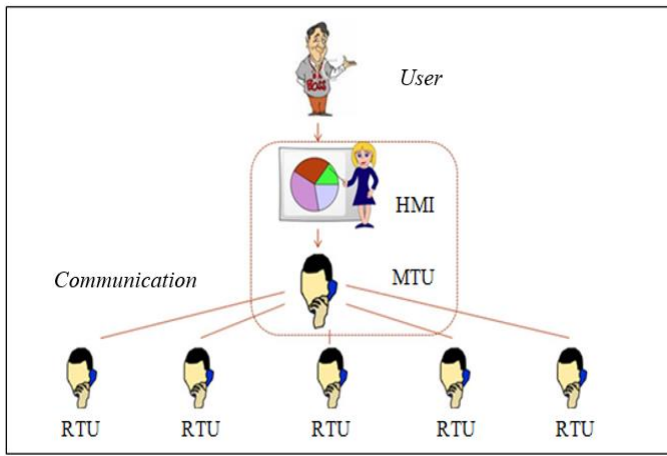
Efek kontrol temperatur lainnya pada besi dan baja adalah pengaruhnya terhadap sifat-sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan luluh besi yang umumnya sedikit meningkat ketika temperatur berkurang dan menurun seiring kenaikan temperatur yang progresif. Modulus elastisitas menjadi lebih stabil dari kekuatan ketika temperatur mendekati temperatur leleh. Keuletan besi menurun secara seragam dengan penurunan temperatur dan meningkat dengan meningkatnya temperatur [3]. Kontrol temperatur sangat penting pada proses pengecoran logam untuk menjamin kestabilan sifat produk dan hasil yang maksimal, sehingga mengharuskan adanya sistem kontrol yang terukur terhadap temperatur pada saat proses pengecoran. Temperatur diukur dengan menggunakan sensor untuk memudahkan proses pengukuran dari penurunan

temperatur secara konstan dan memasukkan data hasil ukur [6].

Sensor temperatur yang digunakan untuk mengukur temperatur aktual, berdasarkan prinsipnya, dibagi menjadi dua jenis, yaitu sensor kontak dan sensor nonkontak. Berbagai faktor perlu dipertimbangkan sebelum menentukan pilihan sensor. Faktor tersebut meliputi kisaran temperatur target, bahan target, ukuran target, jarak target, jenis gas yang dihasilkan proses, dan temperatur sekitar [6]. Proses pengecekan temperatur memberikan informasi penting terkait kondisi mesin dan kondisi proses pengecoran yang harus terkontrol dengan benar. *Monitoring* temperatur yang akurat memastikan bahwa proses pengecoran beroperasi secara konsisten di bawah kondisi-kondisi tertentu dan menghasilkan peningkatan kualitas produk, keselamatan, dan produktivitas. Dalam sensor kontak, diperlukan kontak fisik dengan objek yang diukur untuk mengukur temperatur alat dengan menggunakan teori perpindahan panas yang dikenal sebagai konduksi. Sementara dalam pengukuran dengan sensor nonkontak, prinsip radiasi dari inframerah digunakan untuk mengukur temperatur suatu benda dengan membaca tingkat emisivitas inframerah. Pada makalah ini, dilakukan pengukuran temperatur menggunakan sensor sinar inframerah dengan prinsip lensa menerima emisi energi inframerah dari objek dan memfokuskan ke alat detektor [7], [8].

Sistem *monitoring* temperatur tuang yang dapat memonitor laju penurunan temperatur saat penuangan secara akurat serta terekam sangatlah diperlukan untuk menganalisis hasil pengecoran yang optimal. Selain *monitoring* temperatur tuang pengecoran, diperlukan juga sistem *monitoring* penggunaan energi listrik pada tungku induksi saat proses pengecoran sedang berlangsung. Hal ini bertujuan untuk memonitor dan mengontrol penggunaan energi saat melakukan pengecoran logam, agar langkah-langkah penghematan energi dapat dilakukan dan untuk memudahkan proses penentuan harga pokok produksi saat proses pengecoran logam. Teknologi revolusi industri 4.0 tersebut dapat mempermudah proses *monitoring* temperatur tuang dan penggunaan energi pada saat proses pengecoran. Teknologi revolusi industri 4.0 ditandai dengan penggunaan internet atau disebut *internet of things* (IoT) yang merupakan sebuah konsep untuk memindahkan data-data melalui jaringan internet tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer. Saat ini IoT telah berkembang dari konvergensi teknologi yang nirkabel, *microelectro mechanical systems* (MEMS) dan internet [9].

IoT merupakan jaringan dari suatu benda fisik, tidak hanya jaringan pada komputer, tetapi juga berkembang ke jaringan berbagai jenis dan tipe peralatan, seperti kendaraan, telepon, dan peralatan-peralatan rumah tangga yang juga dapat berkomunikasi antara satu benda dengan yang lain dengan protokol tertentu. IoT adalah penggunaan internet untuk tiga hubungan, yaitu manusia ke manusia, manusia ke mesin, dan mesin ke mesin, yang berinteraksi melalui internet. Dengan kata lain, IoT menghubungkan peralatan elektronik, sensor, dan peralatan *automobile* melalui internet. Produk yang cerdas dan terhubung satu sama lain menjadi terminologi munculnya istilah IoT [10], [11].



Gbr. 1 Analogi *telemetry* SCADA dari HMI hingga RTU.

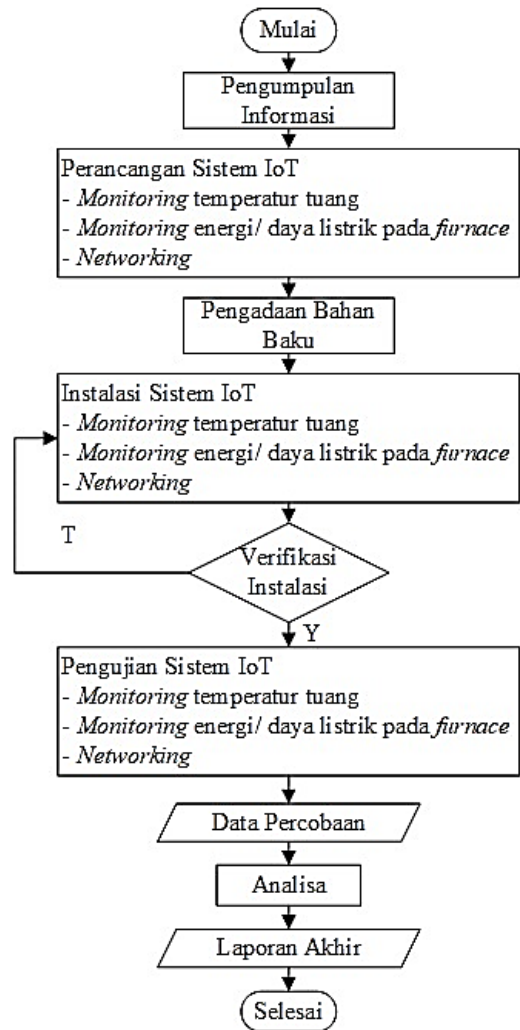
Komponen-komponen penting dalam sistem IoT di antaranya adalah komponen fisik, yaitu komponen yang terdiri atas unsur mekanik dan listrik dari sebuah produk; komponen ‘*smart*’ yang terdiri atas sensor, mikroprosesor, penyimpanan data, kontrol, *software*, sistem operasi, dan *user interface*; serta komponen ‘*connectivity*’ yang terdiri atas *port* antena dan protokol sistem koneksi nirkabel. Dengan adanya sistem peralatan yang terintegrasi dan berkomunikasi dengan IoT, operator dapat lebih mudah melakukan analisis dan evaluasi terhadap suatu sistem peralatan di industri [10], [12].

Sistem *monitoring* adalah suatu sistem yang melakukan proses *monitoring* secara terus menerus. Sistem *monitoring* dibutuhkan dalam proses *monitoring* keadaan suatu objek guna mendapatkan informasi yang tepat waktu [12]. Secara umum, sistem *monitoring* jarak jauh menggunakan sistem akuisisi dan transmisi data khusus yang kemudian disimpan dalam *cloud*. Sistem manajemen dan komunikasi data dapat menggunakan satu sistem yang disebut dengan *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*, yaitu sistem yang dirancang untuk sebuah pengendalian dan pengambilan data dalam pengawasan operator atau manusia. SCADA seperti ditunjukkan pada Gbr. 1 merupakan sistem yang terdiri atas banyak komponen penyusunnya, yaitu sebagai berikut [13]-[16].

1. *Human Machine Interface (HMI)/software SCADA*.
2. *Master Terminal Unit (MTU)*.
3. *Remote Terminal Unit/Programmable Logic Controller (RTU/PLC)*.
4. Radio/sistem komunikasi (antar MTU dan RTU).

II. METODOLOGI

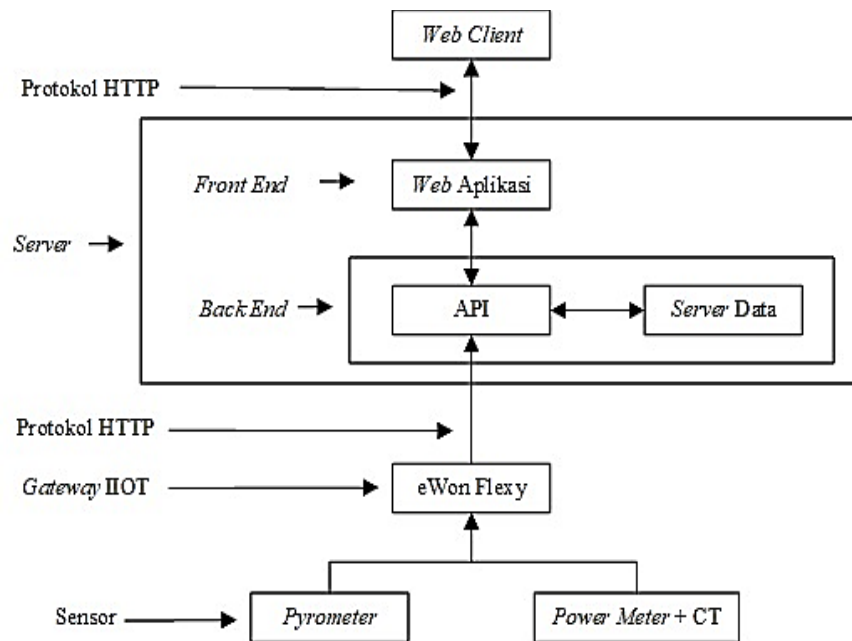
Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan kegiatan untuk mencapai tujuan yang ditargetkan. Adapun tahapan yang dilakukan adalah pengumpulan informasi, perancangan sistem IoT untuk memonitor temperatur *ladle* pelelehan, perancangan sistem IoT untuk memonitor penggunaan energi listrik, perancangan sistem *networking*, pengadaan bahan baku, pembuatan sistem IoT *monitoring* temperatur *ladle* pelelehan dan sistem IoT *monitoring* energi listrik pada *furnace*, serta pengujian sistem IoT yang terpasang. Pengujian dilakukan terhadap keseluruhan sistem *monitoring* untuk



Gbr. 2 Tahapan metodologi penelitian.

mengetahui sistem sudah berjalan dengan baik atau belum. Uji coba dilakukan untuk melihat sensitivitas sensor, aksesibilitas, dan durabilitas peralatan yang telah dikembangkan. Hal ini diperlukan karena peralatan tersebut akan digunakan sepanjang waktu. Proses uji coba ini menentukan tahapan-tahapan selanjutnya, diperlukan perbaikan pada *hardware* dan *software* yang sedang dikembangkan atau langsung dilanjutkan implementasi pada prototipe. Kemudian, dilakukan instalasi sistem *networking* dan integrasi keseluruhan alat. Pengambilan data dan analisis dilakukan dengan pengambilan data temperatur dan juga energi yang telah tersimpan pada sistem *monitoring* yang telah dibuat. Data ini digunakan sebagai data dasar parameter dalam proses pengecoran di MIDC. Tahapan-tahapan tersebut ditunjukkan pada Gbr. 2.

Kegiatan yang dilakukan meliputi implementasi sistem *monitoring* temperatur pada *ladle* yang terintegrasi dengan *server* sebagai pusat *database* secara kontinu dan sistem *monitoring* penggunaan energi pada *induction furnace* yang ada di *workshop* pelelehan MIDC. Bahan baku dan alat yang digunakan dibagi menjadi tiga paket, yaitu peralatan pengukuran temperatur, peralatan pengukuran daya listrik, dan bahan baku *networking*. Bahan baku peralatan pengukuran



Gbr. 3 Diagram topologi logical.

temperatur menggunakan sensor temperatur khusus yang dapat mengukur temperatur di sekitar temperatur leleh (*melting point*) baja karbon dan besi tuang dengan tingkat presisi ± 15 °C. Alat pengukur temperatur khusus ini disebut *pyrometer*. *Pyrometer* ini juga harus dapat menampilkan data ukur temperatur secara *real time* dan juga dapat dikirimkan datanya ke *server* untuk dijadikan *database* temperatur tuang proses pengecoran. Bahan baku peralatan untuk pengukuran daya listrik terdiri atas peralatan *current transformer* 800/5A, *power meter*, *controller gateway Industrial Internet of Things* (IIOT), *box control panel*, *dinrail power supply*, dan *I/O card*. Paket ini dimaksudkan untuk mengukur dan mengirimkan data pengukuran daya listrik ke *server*. Bahan baku *networking* dan *monitoring* terdiri atas peralatan hubungan internet, kabel LAN UTP, laptop, PC dan *monitoring display*, serta *box* pelindung monitor. Selain bahan baku utama tersebut, diperlukan juga peralatan bantu atau *tools* untuk melakukan pengukuran, pengujian, percobaan, dan pembuatan alat-alat pendukung lainnya, seperti tang *ampere*, alat perkakas, alat las, paku, dan alat pelindung diri.

Pada kegiatan ini, dirancang dan dibuat sistem *monitoring* temperatur tuang dan konsumsi daya listrik penggunaan tungku pengecoran induksi secara *real time* berbasis IoT. Komponen-komponen yang digunakan dalam sistem *monitoring* ini secara garis besar adalah sebagai berikut.

- Sensor temperatur menggunakan *pyrometer*, yaitu alat untuk mengukur temperatur logam cair pada proses penuangan logam cair saat pengecoran.
- *Power meter* sebagai RTU dan *current transformer* (CT) sebagai sensor untuk mengukur konsumsi daya pada saat tungku induksi beroperasi.
- *Gateway* atau MTU, yaitu perangkat yang bertugas menghubungkan dan mengolah data yang masuk dari

sensor ke *cloud*. Dalam hal ini, data yang dikirim adalah data-data dari *pyrometer* dan *power meter* sesuai kebutuhan.

- *Monitor embedded* PC sebagai perangkat penyimpanan data digital sensor temperatur serta monitor di lapangan.
- Sistem aplikasi *monitoring* sebagai *software* HMI/SCADA.

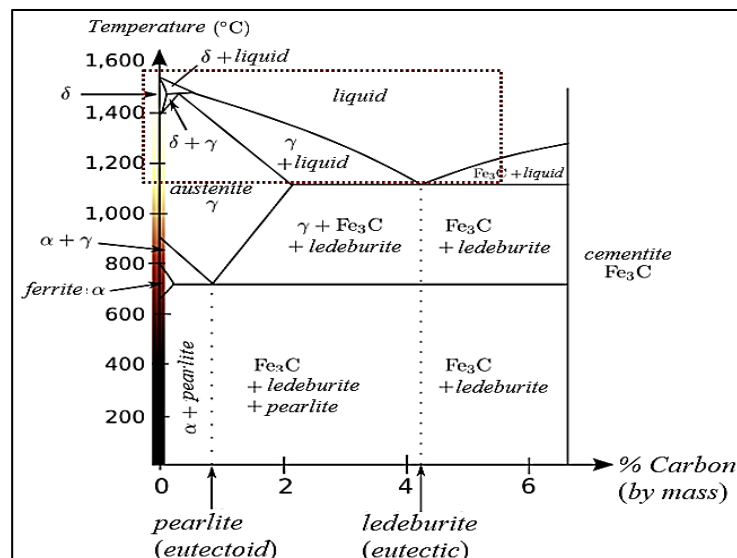
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem *monitoring* temperatur tuang dan konsumsi daya listrik berbasis IoT ini dibangun berdasarkan topologi *logical* seperti ditunjukkan pada Gbr. 3. Diagram tersebut menggambarkan rancangan sistem *monitoring* berbasis IoT di *workshop* pengecoran MIDC. Pada diagram tersebut digambarkan bahwa *Web Aplikasi* merupakan aplikasi *front end* yang berkomunikasi langsung dengan *Web Client*/pengguna. Data yang ditampilkan pada bagian *front end* merupakan hasil pengolahan data pada bagian *back end* yang di dalamnya terdapat *server data*.

Data temperatur tuang diperoleh dari hasil pengukuran temperatur menggunakan *pyrometer*, sedangkan data pengukuran konsumsi daya listrik tungku pengecoran induksi diperoleh dari *power meter* melalui CT. Kedua data tersebut lalu dikumpulkan dan dikirimkan ke *server data* oleh perangkat *gateway* IIOT merek eWon Flexy melalui protokol HTTP. Hasil kegiatan dibagi menjadi tiga subsistem, yaitu subsistem pengukuran temperatur tuang, subsistem pengukuran energi atau daya listrik pada *furnace*, dan subsistem *networking*.

A. Subsistem Pengukuran Temperatur Tuang

Proses perencanaan dimulai dengan menentukan objek ukur temperatur tuang proses pengecoran. Penentuan objek pengukuran dilakukan berdasarkan volume pekerjaan yang



Gbr. 4 Diagram fase baja karbon dan besi cor.

paling tinggi di *workshop* pengecoran MIDC. Oleh karena itu, objek ukur temperatur difokuskan pada objek pengecoran logam *ferro* baja karbon dan besi cor.

Gbr. 4 menunjukkan diagram fase logam *ferro*. Baja karbon merupakan logam *ferro* dengan kandungan karbon < 2,1%, sedangkan besi cor merupakan logam *ferro* dengan kandungan karbon > 2,1%. Pada diagram fase tersebut dapat dilihat bahwa fase *liquid* dari kedua jenis logam *ferro* tersebut berada di rentang 1.130–1.600°C.

Sensor temperatur yang digunakan harus dapat mengukur temperatur cairan logam pada *range* temperatur tersebut. Setelah *range* temperatur pengukuran ditentukan, harus ditentukan pula toleransi pengukuran untuk menjamin kualitas hasil pengukuran yang dibutuhkan. Pada dasarnya, semakin teliti pengukuran, hasil pengukuran yang diperoleh juga semakin baik. Namun, proses pengecoran di MIDC dilakukan di ruang terbuka yang selalu dipengaruhi oleh temperatur ruang (20-30 °C), sehingga toleransi temperatur yang diizinkan dalam proses pengecoran logam, khususnya baja karbon dan besi cor, adalah sekitar 20–30 °C. Adapun faktor lain yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan sensor temperatur ini adalah kebutuhan untuk mengukur objek yang bergerak, yaitu dari mulai cairan logam baja karbon atau besi cor di *furnace* sampai ke *ladle* dan cetakan. Oleh karena itu, dipilih alat *pyrometer two color* sebagai sensor temperatur nonkontak yang dapat mengukur *range* temperatur tersebut serta memiliki toleransi ketelitian yang sesuai. Pemilihan jenis *pyrometer* dengan tipe *two color mode* didasari oleh kondisi *workshop* pengecoran MIDC yang berdebu saat proses pengecoran. Tipe *single color mode* tidak dapat mengukur temperatur cairan logam secara akurat jika terpapar kondisi lingkungan *workshop* yang berdebu ataupun kotor.

Pyrometer jenis ini juga mengukur temperatur dengan cara menghitung rasio energi yang dipancarkan oleh objek ukur melalui dua panjang gelombang inframerah. Adanya teknologi perbandingan rasio dapat meminimalkan kesalahan pengukuran temperatur yang disebabkan oleh perubahan emisivitas,

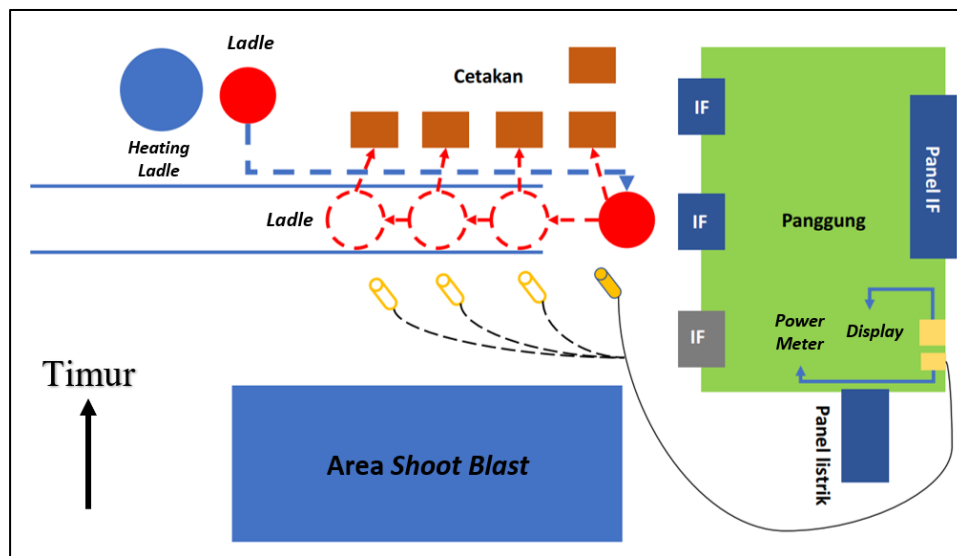
gangguan pengotor di permukaan objek dan debu, ataupun asap yang sering muncul saat proses pengecoran berlangsung. Pengaturan emisivitas dilakukan menggunakan *software* bawaan dari pabrikan.

Pengaturan posisi peralatan pada *layout* sistem *monitoring* temperatur tuang dan energi dibuat dengan tidak banyak mengubah posisi mesin dan peralatan yang sudah terpasang di *workshop* pengecoran MIDC. *Ladle* diletakkan di ujung timur-utara *workshop*, berdampingan dengan cetakan. Adapun *Induction Furnace* (IF) memang sudah terpasang di sebelah selatan. *Layout* rancangan sistem *monitoring* secara keseluruhan ditunjukkan pada Gbr. 5.

Pyrometer dioperasikan mengikuti gerakan *ladle* dari IF menuju cetakan. Pada layar monitor temperatur tuang dapat dilihat secara langsung nilai pada *pyrometer* dan nilai pada monitor yang dipasang berdekatan dengan *power meter*. *Pyrometer* diupayakan tegak lurus dengan area cairan logam dan objek yang diukur temperturnya berada dalam jarak 1-2 meter. Ketelitian hasil pengukuran alat *pyrometer* sangat dipengaruhi oleh jarak ukur antara *pyrometer* dan objek ukur serta sudut ukur *pyrometer* itu sendiri.

Pengambilan data temperatur logam cair pada saat proses pengecoran dilakukan menggunakan sensor *pyrometer*. *Pyrometer* mengirimkan data temperatur logam cair dalam bentuk sinyal analog ke *gateway* IIoT. Kemudian, perangkat *gateway* IIoT mengolah sinyal analog tersebut menjadi data digital dan mengirimkannya ke *cloud server* secara *real time*. Data temperatur tuang logam cair ini dapat digunakan sebagai *database* yang bermanfaat untuk proses pengecoran logam sejenis sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil produk coran dan juga agar menghasilkan produk cor yang berkualitas dan lebih bermanfaat bagi masyarakat luas.

Validasi data hasil pengukuran temperatur logam cair dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan *pyrometer* dengan hasil pengukuran *thermocouple* kontak yang biasa digunakan di *workshop* pengecoran. Gbr. 6 menunjukkan bahwa hasil pembacaan kedua sensor relatif



Gbr. 5 Layout sistem monitoring temperatur tuang dan energi di workshop pengecoran MIDC.

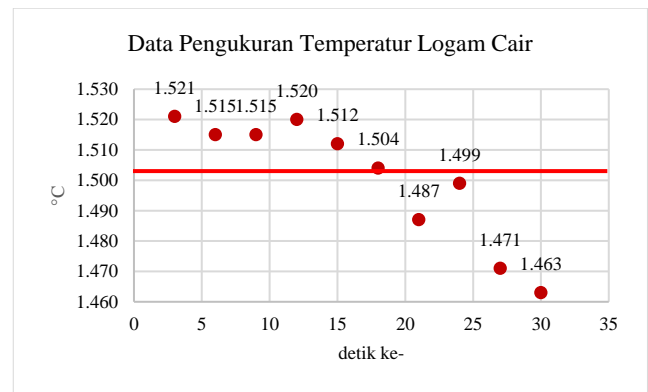


Gbr. 6 Perbandingan hasil pengukuran temperatur antara *thermocouple* (kiri) dan *pyrometer* (kanan).

sama, yaitu *pyrometer* menunjukkan angka 1.520 °C, sedangkan *thermocouple* kontak menunjukkan angka pembacaan 1.502 °C. Selisih pengukuran sebesar 18°C masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan.

Validasi juga dilakukan pada hasil pengukuran *pyrometer* yang dikirim ke *cloud server* melalui *gateway IIoT* dengan interval waktu 3 detik. Gbr. 7 menunjukkan sampel data pengukuran temperatur logam cair menggunakan *pyrometer*. Garis berwarna merah menunjukkan hasil pengukuran menggunakan *thermocouple* dengan nilai 1.502 °C. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan *pyrometer* relatif akurat dengan nilai penyimpangan yang masih dalam batas toleransi. Namun, terdapat dua data pengukuran yang nilai penyimpangannya melebihi batas toleransi yang diperbolehkan, yaitu: 1.471°C dan 1.463°C. Kedua data tersebut memiliki nilai penyimpangan sebesar -31°C dan -39°C, yang melebihi batas toleransi penyimpangan maksimal yang diperbolehkan, yaitu sebesar ± 30 °C.

Penyimpangan nilai pengukuran tersebut dapat terjadi karena faktor kondisi pengukuran yang kurang ideal, seperti sudut pengukuran yang terlalu besar, jarak pengukuran yang terlalu jauh, serta kondisi *pyrometer* yang goyang. Kondisi



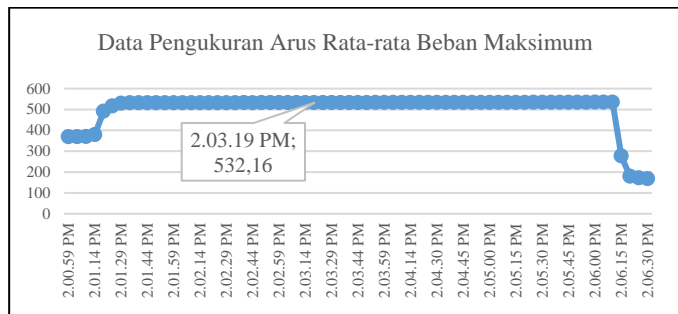
Gbr. 7 Sampel hasil pengukuran temperatur yang tersimpan di *server*.

tersebut menyebabkan *spot size sensor pyrometer* menjadi melebar dan tidak hanya menangkap logam cair saja, tetapi juga menangkap material lain, seperti *slag* dan dinding *furnace*. Ini menyebabkan nilai pengukuran menjadi lebih rendah dari yang seharusnya.

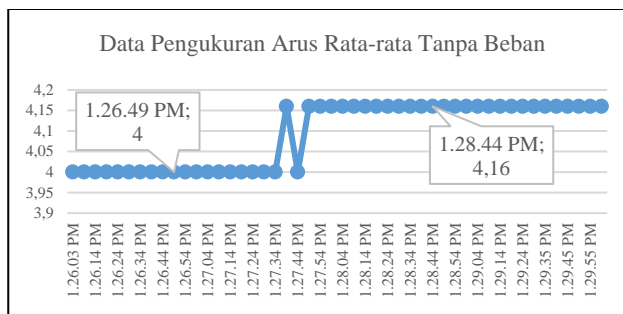
B. Subsistem Pengukuran Energi/Daya Listrik pada Furnace

Konsep sistem *monitoring* energi listrik yang dimaksud adalah terkirimnya data konsumsi energi listrik dari peralatan *power meter* ke *server* melalui *gateway IIoT*. Maka, sebelum menentukan peralatan yang digunakan, terlebih dahulu dilakukan pengkajian terhadap kebutuhan alat.

Dari spesifikasi teknis IF, diketahui bahwa arus maksimum pada tiap kabel (3-fase) adalah sebesar 525 A. Nilai arus sebesar ini tidak dapat langsung dialirkan ke *power meter*. Oleh karena itu, dibutuhkan alat penurun arus listrik AC dari IF ke *power meter* berupa CT. CT yang dipilih adalah tipe *split core* dengan rasio 800/5 A. *Power meter* yang dipilih merupakan *power meter* yang kompatibel dengan *controller* dan *gateway IIOT* serta dapat membaca nilai daya listrik yang digunakan oleh IF saat proses pengecoran. Protokol yang digunakan untuk mengirimkan data dari *power meter* ke *gateway IIOT* adalah Modbus.



Gbr. 8 Hasil pengukuran arus rata-rata saat beban maksimum.



Gbr. 10 Data hasil pengukuran arus rata-rata tanpa pembebanan.



Gbr. 9 Pengukuran arus saat beban maksimum menggunakan tang ampere.



Gbr. 11 Pengukuran arus saat tanpa beban menggunakan tang ampere.

Pengujian sistem *monitoring* energi listrik dilakukan pada saat beban arus maksimum, yaitu pada saat IF digunakan untuk mencairkan logam padat pada proses pengecoran. Data yang digunakan adalah data arus rata-rata bulan September yang diperoleh dari pengukuran masing-masing kabel pada IF 3-fase. Data hasil pengukuran arus rata-rata pada saat beban maksimum yang ditunjukkan pada Gbr. 8.

Data hasil pengukuran pada sistem *monitoring* energi menunjukkan bahwa arus rata-rata saat beban maksimum mencapai 532 A. Validasi hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan tang ampere merek Fluke yang telah dikalibrasi. Pengukuran arus pada ketiga kawat tembaga IF 3-fase memberikan hasil nilai-nilai arus sebesar 520 A, 512 A, dan 516 A, sebagaimana ditunjukkan pada Gbr. 9. Ada perbedaan hasil pengukuran antara sistem monitoring energi dengan hasil pengukuran menggunakan tang ampere. Namun, hal tersebut masih dalam batas penyimpangan yang wajar, yaitu sebesar 3%.

Pada penggunaan sistem *monitoring* energi seperti ini dapat ditemukan juga bahwa terdapat kebocoran arus listrik pada sistem IF. Hal itu dapat diamati dari data *monitoring* arus listrik yang masih mengalir ke IF pada saat kondisi tidak beroperasi (*off*). Data hasil dan proses pengukuran ditunjukkan pada Gbr. 10 dan Gbr. 11.

Hasil pengukuran arus rata-rata menunjukkan bahwa meskipun IF dalam kondisi tanpa beban (mesin mati), masih ada arus rata-rata yang mengalir sebesar 4 A. Pengukuran menggunakan tang ampere juga menunjukkan hasil arus rata-rata yang serupa, yaitu sebesar 3,9 A. Hal ini menandakan terjadi kebocoran arus listrik pada sistem IF, sehingga merugikan MIDC karena harus membayar listrik yang hilang atau tidak terpakai.

Adapun pembacaan arus listrik pada IF di *dashboard web* aplikasi ditunjukkan pada Gbr. 12. Data menunjukkan bahwa energi terbuang sekitar 60 kWh, padahal pada hari tersebut

tidak dilakukan proses pengecoran. Hal tersebut sangat berpotensi menimbulkan kerugian MIDC sebesar Rp64.560,00/hari atau sekitar Rp23.241.600,00/tahun.

C. Subsystem Networking

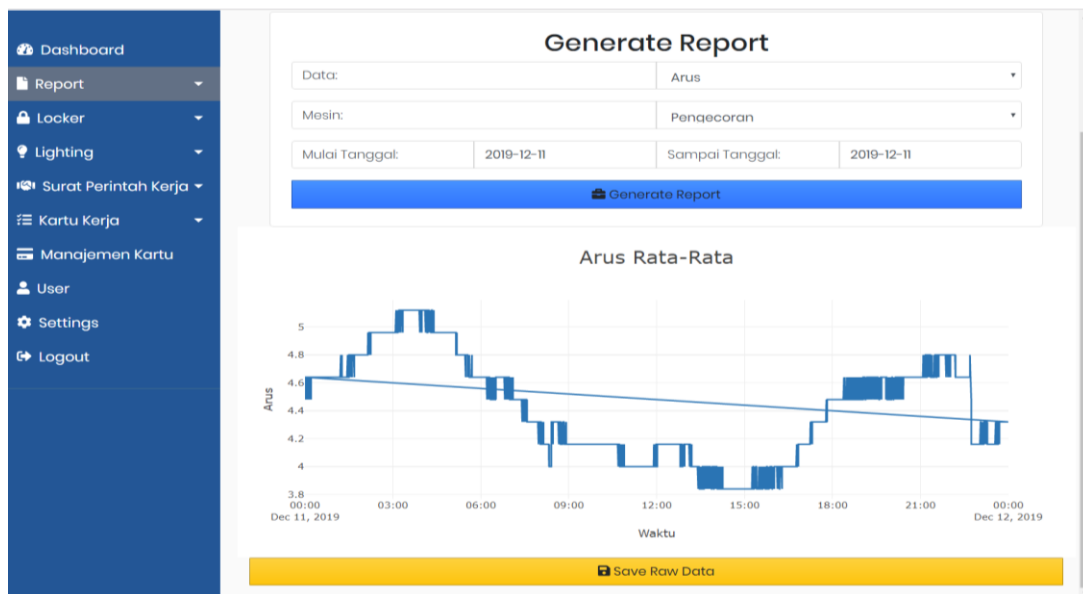
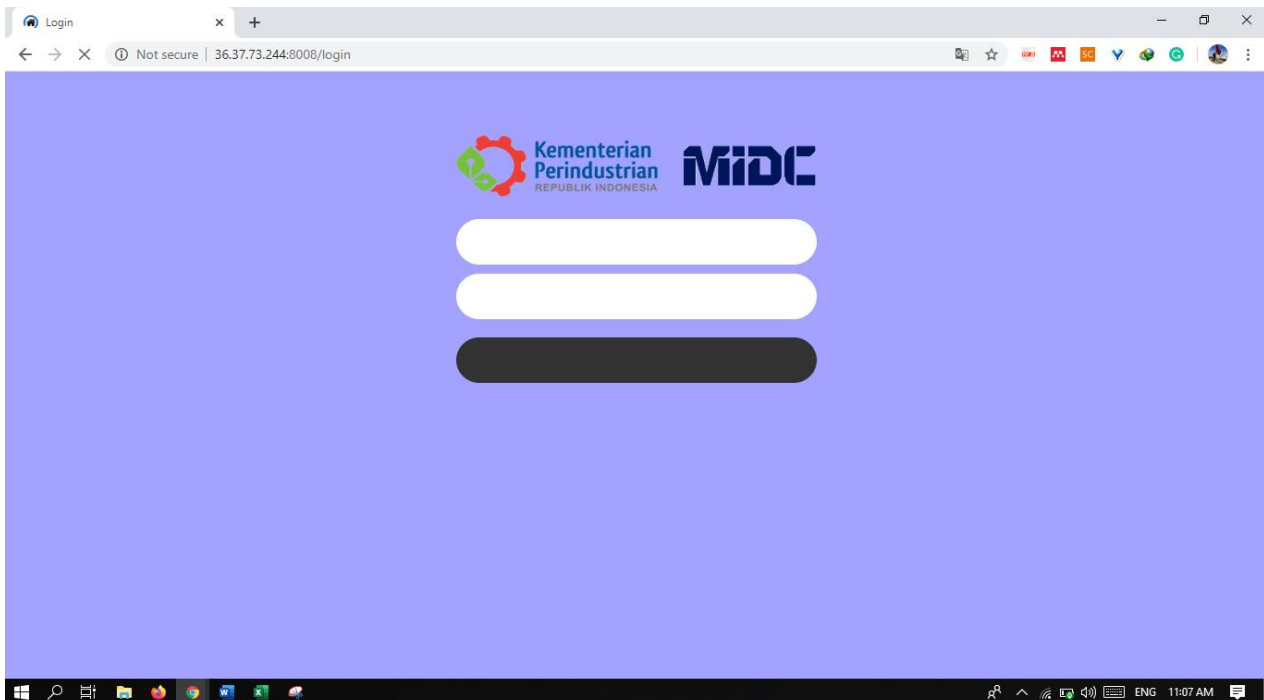
Subsystem *networking* pada dasarnya adalah sistem integrasi dari kedua subsystem pengukuran temperatur tuang dan energi listrik saat proses pengecoran. Secara garis besar, subsystem ini dibedakan menjadi dua bagian, yaitu *hardware* dan aplikasi *monitoring*. *Hardware* yang digunakan pada subsystem ini antara lain *hub/router internet*, kabel LAN UTP, *gateway* IIoT, laptop, komputer, dan juga *box* pelindungnya. Adapun aplikasi *monitoring* yang dibangun terdiri atas aplikasi *front end* dan aplikasi *back end*.

Gateway yang digunakan pada sistem *monitoring* ini adalah *gateway* IIoT eWON Flexy Serie 200. Perangkat ini dipilih karena dapat terhubung dengan berbagai jenis konektivitas, seperti *ethernet*, Wi-Fi, dan *flexible WAN*, serta dapat juga terhubung dengan berbagai macam peralatan sensor dan berbagai protokol (*flexible field*) dan dilengkapi dengan aplikasi-aplikasi HMI berbasis *web* sehingga mudah dikonfigurasi.

Melalui *gateway* IIoT ini, data pengukuran yang diperoleh, seperti arus listrik, daya listrik, dan temperatur tuang logam cair, dikirimkan ke *cloud server* MIDC. Data pengukuran tersebut diolah terlebih dahulu menggunakan aplikasi HMI berbasis *web* eWON Flexy sesuai kebutuhan, serta kemudian dikirimkan ke *server* MIDC menggunakan protokol HTTP.

Penggunaan protokol tersebut bersifat lebih umum jika dibandingkan dengan protokol MQTT. Hal tersebut dimaksudkan untuk memudahkan pengolahan dan penyajian data pada bagian *back end* dan *front end*, yang data-datanya ditampilkan dalam bentuk *web* aplikasi.

Aplikasi *front end* dan *back end* dibuat menggunakan aplikasi *node.js*. Kelebihan dari aplikasi ini adalah kemam-

Gbr. 12 Pembacaan arus listrik pada mesin *furnace*.Gbr. 13 Tampilan awal aplikasi *front end* IoT cor dan *smart office* MIDC.

puannya dijalankan baik pada *web* aplikasi maupun pada sisi *server* dengan menggunakan satu bahasa pemrograman, yaitu *javascript*, sehingga tidak memerlukan dua aplikasi untuk membangun bagian *front end* dan *back end*. Sistem manajemen basis data SQL yang digunakan adalah *database* MySQL, sehingga semua akses ke *database* dilakukan melalui suatu *Application Programming Interface* (API). API berfungsi sebagai perantara antara *web* aplikasi dengan *server* data. Hal ini berarti setiap data pada *server* data yang akan ditampilkan pada *Web* Aplikasi harus diatur oleh API terlebih dahulu. Maka, API digunakan sebagai standar komunikasi agar aplikasi dan perangkat yang berbeda dapat

berkomunikasi serta untuk membatasi akses langsung ke *server* data. API yang digunakan berbasis HTTP. Aplikasi ini mempermudah *monitoring* temperatur tuang dan penggunaan energi listrik secara *real time* di *server/cloud* karena data yang terukur dikirim ke *server* dan disimpan di *storage server*.

Melalui *gateway* IIoT ini dikirimkan data-data yang diperlukan dalam penelitian, seperti arus listrik, daya listrik, dan temperatur tuang cairan logam ke *server/cloud* MIDC. Data-data yang dikirimkan oleh *gateway* IIoT tersebut harus diproses lebih lanjut agar dapat ditampilkan dalam suatu aplikasi *dashboard monitoring*, dalam hal ini disebut *software* subsistem *networking*. Pembuatan aplikasi *dashboard*

monitoring yang dimaksud dilakukan menggunakan bahasa *nodejs* (JavaScript).

Tampilan awal aplikasi *software front end* yang telah dibuat beserta *script* penyusunnya ditunjukkan pada Gbr. 13. Pada aplikasi *front end* berbasis *website* ini dapat dilakukan *monitoring* parameter temperatur tuang dan penggunaan energi pada saat proses pengecoran berlangsung. Data-data yang disajikan pada bagian *front end* berupa data temperatur tuang cairan logam, arus rata-rata, frekuensi, *power factor*, dan penggunaan energi pada waktu tertentu sebagaimana yang diinginkan. Aplikasi *front end* yang telah dibuat dapat diakses di alamat <http://36.37.73.244:8008/login>.

Meskipun secara arsitektur sistem *monitoring* berbasis IoT untuk *monitoring* temperatur tuang logam cair dan konsumsi energi IF ini telah berhasil dikembangkan, ada beberapa kekurangan terkait dengan data hasil pengukuran. Pada subsistem pengukuran temperatur logam cair, ada perbedaan hasil pengukuran temperatur antara sensor *pyrometer* dengan sensor temperatur kontak. Hal itu disebabkan oleh kondisi pengukuran yang kurang ideal, antara lain sudut pengukuran yang terlalu besar, jarak pengukuran yang terlalu jauh, dan kondisi *pyrometer* yang goyang serta faktor temperatur lingkungan. Beberapa kondisi pengukuran tersebut dapat menyebabkan *spot size* sensor *pyrometer* menjadi melebar dan tidak hanya menangkap logam cair saja, tetapi juga menangkap material lain, seperti slag dan dinding *furnace*.

IV. KESIMPULAN

Sistem *monitoring* berbasis IoT yang dikembangkan terdiri atas subsistem pengukuran temperatur tuang logam baja karbon dan besi cor, subsistem pengukuran energi atau daya listrik pada *furnace*, dan subsistem pada *networking* (aplikasi *monitoring real time*) yang menghubungkan kedua subsistem yang sebelumnya. Sistem *monitoring* secara *real time* ini berhasil mendapatkan *database* temperatur tuang logam cair yang akurat (penyimpangan ± 30 °C dibandingkan dengan sensor kontak) yang sangat bermanfaat untuk kegiatan litbang dan berhasil mendeteksi ketidaknormalan proses yang terjadi, seperti ditemukannya kebocoran energi pada IF di *workshop* pengecoran MIDC. Oleh karena itu, dari sistem *monitoring* ini dapat ditemukan peluang penghematan sebesar Rp23.241.600,00 per tahun yang selanjutnya dapat menurunkan harga pokok produksi dari pembuatan produk logam melalui proses pengecoran.

Sistem *monitoring* berbasis IoT seperti ini dapat diimplementasikan oleh pelbagai jenis industri dengan penyesuaian jenis sensor, protokol, dan arsitektur IoT tertentu. Penelitian ini masih dapat dikembangkan lagi pada masa yang akan datang terutama dalam pengembangan subsistem pengukuran temperatur tuang nirkabel, modifikasi mekanisasi proses pengecoran, dan lain-lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya diucapkan kepada semua pihak, khususnya Ir. Enuh Rosdeni, M.Eng., Dr. Shinta

Virdhian, ST.M.Sc., serta Moch Iqbal Zaelana Muttahar, Sony Harbintoro, Alfa Anggawasita, dan Dimas Praja Purwa Aji, yang telah banyak memberikan motivasi, bantuan, kesempatan, dan juga sumbangan pikirannya.

REFERENSI

- [1] D.K. Kakke dan G.D. Shelake, "Improvement in Ladle Technology for Conservation of Heat Energy," *International Journal of Engineering Development and Research*, Vol. 6, No. 1, hal. 406-414, 2018.
- [2] S.N. Bansode, V.M. Phalle, dan S.S. Mantha, "Optimization of Process Parameters to Improve Dimensional Accuracy of Investment Casting using Taguchi Approach," *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 4, hal. 1-12, 2019.
- [3] S.A. Balogun, D.E. Esezobur, dan J.O. Agunsoye, "Effect of Melting Temperature on the Wear Characteristics of Austenitic Manganese Steel," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 7, No. 3, hal. 277-289, 2008.
- [4] NADCA, *Product Design For Die Casting*, 7th ed., Illinois, USA: North American Die Casting Association, 2015.
- [5] A. Hasan dan Suyitno, "Effect Pouring Temperature on Casting Defect Susceptibility of Hot Tearing in Metal Alloy Al-Si," *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 758, hal. 95-99, 2015.
- [6] C.M. Jha. *Thermal Sensors: Principle Application for Semiconductor Industries*. New York, USA: Springer, 2015.
- [7] "Basic Principles of Non Contact Temperature Measurement Manual Book," Optris GmbH, Berlin, Germany, 2009.
- [8] T.U. Urbach dan Wildian. "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Temperatur Pemanasan Zat Cair Menggunakan Sensor Inframerah MLX90614," *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 8, No. 3, hal. 273-28, 2019.
- [9] O. Vermesan dan P. Friess, *Internet of Things-Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*, Aalborg, Denmark: River Publishers, 2013.
- [10] K.K. Patel dan S.M. Patel, "Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges," *International Journal of Engineering Science and Computing*, Vol. 6, No. 5, hal. 6122-6131, 2016.
- [11] K.S.S. Ram dan A.N.P.S. Gupta, "IoT based Data Logger System for Weather Monitoring using Wireless Sensor Networks," *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 32, hal. 71-75, 2016.
- [12] Mudjahidin dan N.D.P. Putra, "Rancang Bangun Sistem Informasi Monitoring Perkembangan Proyek Berbasis Web Studi Kasus di Dnas Bina Marga dan Pemantusan," *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11, No. 1, hal. 75-83, 2010.
- [13] U. Farooq, N.U. Hasan, I. Baig, dan N. Shehzad, "Efficient Adaptive Framework for Securing the Internet of Things Devices," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 210, hal. 1-13, 2019.
- [14] C.M. Morais, D. Sadok, dan J. Kelner, "An IoT Sensor and Scenario Survey for Data Researchers," *Journal of the Brazilian Computer Society*, Vol. 25, No. 4, hal. 1-17, 2019.
- [15] A.E. Handoko, Erizal, dan Y. Chadirin. "Rancang Bangun Sistem SCADA pada Instalasi Pengolahan Air Sungai Cihideung Institut Pertanian Bogor," *Jurnal Keteknik Pertanian*, Vol. 5, No. 2, hal. 129-136, 2017.
- [16] B. Somasundaram (2017) "Publication on ResearchGate" [Online], <https://www.researchgate.net/publication/289985034>, tanggal akses: 16-Des-2019.