



## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## MONITORING SUHU PROSES *IMMERSION FREEZING* UNTUK MEMPREDIKSI DAN MENGANALISA BIAYA PRODUKSI *MIRRORING* PERHIASAN

Ramdhany Ihtifazhuddin\*, Nana Sutarna<sup>1</sup>, Britantyo Wicaksono<sup>2</sup>

\*Magister terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, Indonesia

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

\*ramdhany.ihtifazhuddin.te20@mhs.ac.id

**Abstract** This research is motivated by problems at PT Sentral Kreasi Kencana in the immersion freezing process for jewelry production. This process is still carried out manually with a fixed time assumption of 45 minutes, which causes temperature uncertainty and difficulty in increasing production quantity. This has an impact on decreasing efficiency and increasing production costs per gram. The study aims to increase the efficiency of the immersion freezing process through the implementation of a sensor-based temperature monitoring system and production cost analysis. The methods used include developing a temperature monitoring system using the MLX90614 sensor, integration with Arduino Uno, and creating a graphical user interface (GUI) for real-time data analysis. The system developed consists of an MLX90614 infrared temperature sensor, an Arduino Uno microcontroller, a buzzer as an alarm, and a push-button for batch calculation. The GUI is designed to display temperature data, trend graphs, total batches, product weight, fixed costs, and cost/gram calculations in real time. The results showed that the implementation of the temperature monitoring system increased the number of daily production batches by 50%, from 4 to 6 batches. The process time was also reduced from 45 minutes to 30 minutes per batch. The optimum temperature of  $-7^{\circ}\text{C}$  was set as the reference point for the immersion freezing process. Production cost analysis showed a significant decrease in cost/gram from IDR 6,333.33 to IDR 2,638.89, far below the company's standard cost of IDR 5,000.00 per gram. This system has proven effective for gold with a content of 34.0%, 67.1%, and 75.5%. The implementation of this technology has succeeded in increasing production efficiency, reducing the cost per gram, and increasing overall production capacity. This research provides a practical solution for optimizing the immersion freezing process in the jewelry industry, with the potential for wider application in other precision manufacturing sectors.

**Abstrak** Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan di PT Sentral Kreasi Kencana dalam proses *immersion freezing* untuk produksi perhiasan. Proses ini masih dilakukan secara manual dengan asumsi waktu tetap 45 menit, yang menyebabkan ketidakpastian suhu dan kesulitan dalam meningkatkan kuantitas produksi. Hal ini berdampak pada penurunan efisiensi dan peningkatan biaya produksi per gram. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses *immersion freezing* melalui implementasi sistem monitoring suhu berbasis sensor dan analisis biaya produksi. Metode yang digunakan meliputi pengembangan sistem monitoring suhu menggunakan sensor MLX90614, integrasi dengan Arduino Uno, dan pembuatan antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk analisis data real-time. Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor suhu inframerah MLX90614, mikrokontroler Arduino Uno, *buzzer* sebagai alarm, dan push button untuk penghitungan *batch*. GUI dirancang untuk menampilkan data suhu, grafik tren, total *batch*, berat produk, *fixed cost*, dan kalkulasi *cost/gram* secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi sistem monitoring suhu meningkatkan jumlah *batch* produksi harian sebesar 50%, dari 4 menjadi 6 *batch*. Waktu proses juga berkurang dari 45 menit menjadi 30 menit per *batch*. Suhu optimal  $-7^{\circ}\text{C}$  ditetapkan sebagai titik acuan untuk proses *immersion freezing*. Analisis biaya produksi menunjukkan penurunan signifikan *cost/gram* dari Rp 6.333,33 menjadi Rp 2.638,89, jauh di bawah standar biaya yang ditetapkan perusahaan sebesar Rp 5.000,00 per gram. Sistem ini terbukti efektif untuk emas dengan kadar 34.0%, 67.1%, dan 75.5%. Implementasi teknologi ini berhasil meningkatkan efisiensi produksi, menurunkan biaya per gram, dan meningkatkan kapasitas produksi secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan solusi praktis untuk optimalisasi proses *immersion freezing* dalam industri perhiasan, dengan potensi penerapan lebih luas di sektor manufaktur presisi lainnya.

**Kata Kunci**– *immersion freezing*, monitoring suhu, analisis biaya produksi, manufaktur perhiasan, efisiensi produksi

## I. PENDAHULUAN

Perhiasan menjadi daya tarik konsumen khususnya perempuan dimana salah satu modelnya adalah *mirroring*. Untuk proses *mirroring* sebuah perhiasan diperlukan sebuah proses milling menggunakan mesin CNC. Sebelum ke proses milling, perhiasan harus dikondisikan dalam sebuah platform yang berisi cairan membeku. Di antara berbagai teknik yang digunakan, proses *immersion freezing* telah muncul sebagai metode yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas permukaan perhiasan sebelum proses *mirroring* [1]. Teknik ini melibatkan pencelupan perhiasan ke dalam media pendingin yang diatur suhunya secara presisi, menciptakan lapisan es mikro yang membantu menghaluskan permukaan logam pada skala mikroskopis [2]. Namun, implementasi efektif dari teknik ini dalam skala industri menghadapi beberapa tantangan, terutama dalam hal konsistensi dan efisiensi proses. Di PT Sentral Kreasi Kencana proses *immersion freezing* masih dikerjakan secara manual. Dimana didalam proses *immersion freezing* dari mulai cairan hingga membeku masih menggunakan asumsi waktu. Waktu yang dibutuhkan dalam proses *immersion freezing* selama 45 menit. Dimana suhu platform untuk proses *immersion* berasal dari mesin chiller yang mempunyai suhu konstan  $-19^{\circ}\text{C}$ . Dampak dari proses *immersion freezing* yang berdasarkan asumsi waktu mengakibatkan kesulitan didalam menaikkan kuantiti produksi. Hal ini berdampak pula pada penurunan biaya produksi yang dinyatakan dalam *cost/gram*. Studi terbaru menunjukkan bahwa variasi suhu yang tidak terkontrol selama proses *immersion freezing* dapat mengakibatkan ketidakseragaman kualitas permukaan dan peningkatan biaya produksi [3].

PT Sentral Kreasi Kencana saat ini kesulitan untuk menaikkan kuantiti produksi akibat dari dampak waktu proses *immersion freezing* yang sudah ditetapkan selama 45 menit. Problem ini perlu dipecahkan dengan mencari tahu akar masalah dari kasus tersebut. Berdasarkan telaah dan hasil pengamatan bahwa penyebab dari akar masalah tersebut adalah adanya ketidakpastian suhu pada proses *immersion freezing*. Solusi permasalahan terkait kasus diatas adalah harus dipastikan di suhu berapa proses *immersion freezing* sudah layak untuk naik ke proses berikutnya (*mirroring*). Selama ini proses *immersion freezing* digunakan di industri perikanan dan pertanian untuk membekukan ikan dan sayuran. Dimana di dalam proses *immersion freezing* pada kedua

industri tersebut memang tidak membutuhkan waktu kapan pembekuan itu terjadi selama proses pembekuan. Teknologi proses *immersion freezing* tersebut kemudian diadopsi oleh beberapa perusahaan perhiasan untuk mengikat perhiasan saat proses *mirroring* [4]. Dalam konteks ini, kontrol suhu menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan proses *immersion freezing*. Penelitian [5] menunjukkan bahwa fluktuasi suhu sekecil  $1^{\circ}\text{C}$  dapat menyebabkan variasi signifikan dalam tekstur permukaan akhir perhiasan, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas proses *mirroring* selanjutnya.

Berdasarkan studi kasus tersebut, maka diputuskan bahwa suhu proses *immersion freezing* perlu dimonitoring. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan kepastian suhu beku yang layak untuk proses selanjutnya. Dengan demikian, dengan diketahuinya kepastian suhu diproses *immersion freezing* dapat memperkecil waktu asumsi yang sudah ditetapkan sebelumnya. Untuk mengimplementasikan solusi ini perlu dibuatkan sebuah sistem monitoring dan pengukuran suhu digital. Komponen penunjang untuk mengimplementasikan sistem suhu digital melibatkan sensor ir-temp mlx90614, *microcontroller*, dan pc. hasil pembacaan sensor suhuakan ditampilkan di hyperlink arduino melalui pc. Kemajuan dalam teknologi sensor dan sistem kontrol berbasis mikrokontroler menawarkan solusi potensial untuk mengatasi tantangan ini. Integrasi sensor suhu non-kontak dengan sistem pemrosesan data real-time telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam berbagai aplikasi manufaktur presisi [6]. Khususnya, penggunaan sensor inframerah seperti MLX90614 telah terbukti meningkatkan akurasi pengukuran suhu hingga 30% dibandingkan metode konvensional, sambil menghindari risiko kontaminasi atau gangguan pada permukaan yang sensitif [7].

Meskipun potensinya yang besar, penerapan teknologi ini dalam konteks spesifik proses *immersion freezing* untuk perhiasan masih belum dieksplorasi secara menyeluruh. Kesenjangan ini menciptakan peluang signifikan untuk penelitian dan inovasi. Peneliti [8] menekankan nilai tambah dari integrasi sistem monitoring dengan analisis data prediktif untuk optimalisasi proses jangka panjang. Terkait perhitungan *cost/gram*, PT Sentral Kreasi Kencana menggunakan metode konvensional yaitu dengan menggunakan aplikasi excel sebagai tools. Aplikasi ini masih memiliki kekurangan walaupun sudah cukup untuk mengatasi problem diatas sebagai solusi. Kekurangan pada pengguna aplikasi excel ini terletak pada operator dan tehnik data entry. Salah satu masalah adalah kurang efisiensi dalam jumlah *manpower* yang dibutuhkan. Diperlukan pelatihan dan kemampuan analisa pada operator sebelum menjalankan aplikasi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

excel untuk memprediksi biaya produksi. Permasalahan lain adalah saat proses input data dimana faktor *human error* sangat berpengaruh pada hasil akhir prediksi. Faktor-faktor kesalahan dalam *human error* yaitu kelelahan, jam kerja, dan mental. Problem ini menjadi beban perusahaan sehingga kurang efisien dalam biaya operasional dan kurang efektif dalam memprediksi data biaya produksi kedepan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan dan mengevaluasi sistem monitoring suhu terintegrasi untuk proses *immersion freezing* dalam produksi perhiasan. Dengan menggabungkan sensor suhu non-kontak MLX90614, mikrokontroler Arduino, dan antarmuka pengguna *Graphical user interface* (GUI) yang canggih. GUI mampu menampilkan data hasil pengukuran dan perhitungan seperti suhu dan *cost/gram* pada satu layar tampilan. Dengan GUI dapat mengeliminasi banyak kekurangan seperti pada pembahasan sebelumnya. Eliminasi yang dapat dilakukan adalah mengurangi jumlah *manpower* yang akan mengoperasikan aplikasi excel, biaya pelatihan operator dan memperkecil kemungkinan faktor kesalahan *human error*. GUI pada penelitian ini akan diimplementasikan pada monitoring suhu proses *immersion freezing* dan kalkulasi *cost/gram*.

Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan presisi dan konsistensi proses, tetapi juga untuk mengoptimalkan efisiensi biaya produksi. Pendekatan holistik ini mencakup pengembangan algoritma kontrol adaptif yang mampu menyesuaikan parameter proses berdasarkan data real-time, serta implementasi sistem analisis data untuk mengidentifikasi tren dan anomali jangka panjang.

Akhirnya, aspek penting dari penelitian ini adalah evaluasi implikasi ekonomi dari implementasi sistem monitoring suhu dalam konteks industri perhiasan. Analisis biaya dan manfaat yang rinci akan dilakukan, memperhitungkan tidak hanya pengurangan biaya langsung terkait dengan peningkatan efisiensi, tetapi juga potensi peningkatan nilai produk dan kepuasan pelanggan. Pendekatan holistik ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas produk, efisiensi operasional, dan daya saing industri perhiasan secara keseluruhan, sambil menyediakan kerangka kerja untuk adopsi teknologi serupa di sektor manufaktur lainnya.

## II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah rancang bangun sistem berdasarkan hasil observasi lapangan dan pemilihan komponen yang sesuai. Observasi lapangan dilakukan

berdasarkan pengamatan pencatatan data menggunakan sensor yang ada. Selanjutnya dilakukan diskusi dengan user membuat alat penunjang, untuk merealisasikan alat pada mesin Platform CNC di PT Sentral Kreasi Kencana. Sebelumnya alat yang digunakan hanya bak sederhana yang dicek secara manual setiap 5-10 menit selama 45 menit. Alat ini telah berfungsi, namun belum dapat menentukan tingkat efisien proses dan belum dapat terintegrasi dengan sistem otomatis. Tujuan *upgrading* bak sederhana manual ke sistem otomasi untuk peningkatan kuantitas produksi. Hal ini sejalan dengan kebutuhan Depertemen PPIC yang menginginkan maksimal *output* dari mesin ini agar proses produksi dapat di monitoring secara *real time*. Informasi ini menjadi pertimbangan dalam desain sistem *monitoring* untuk penanganan kasus yang dapat menyelesaikan problematika di Depertemen PPIC.

### i. *immersion freezing* dalam industri perhiasan

Teknologi *immersion freezing* merupakan salah satu metode inovatif dalam industri perhiasan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas permukaan logam sebelum proses *mirroring*. Metode ini melibatkan pencelupan perhiasan ke dalam media cairan aquadest yang didinginkan hingga mencapai suhu di bawah titik beku air [9]. Proses ini bertujuan untuk menciptakan lapisan es tipis dan merata pada permukaan perhiasan, yang kemudian akan meleleh secara perlahan, meninggalkan permukaan yang lebih halus dan siap untuk proses *mirroring*.

Menurut penelitian yang dilakukan, penggunaan aquadest sebagai media pendingin memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan cairan pendingin lainnya [10]. Aquadest, yang merupakan air murni hasil destilasi, tidak mengandung mineral atau kontaminan yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan perhiasan. Hal ini menjadi penting karena kemurnian media pendingin berpengaruh langsung terhadap hasil akhir proses *mirroring*. Proses *immersion freezing* biasanya dilakukan pada suhu  $-1^{\circ}\text{C}$  hingga suhu  $-25^{\circ}\text{C}$ , dengan waktu pencelupan berkisar antara 5 detik hingga 45 menit, tergantung pada jumlah dan ukuran perhiasan [11]. Selama proses ini, molekul air pada permukaan logam mengalami kristalisasi yang seragam, yang pada gilirannya membantu menghaluskan ketidakteraturan mikro pada permukaan perhiasan seperti Gambar 1.



**Gambar 1:** Proses Immersion Freezing



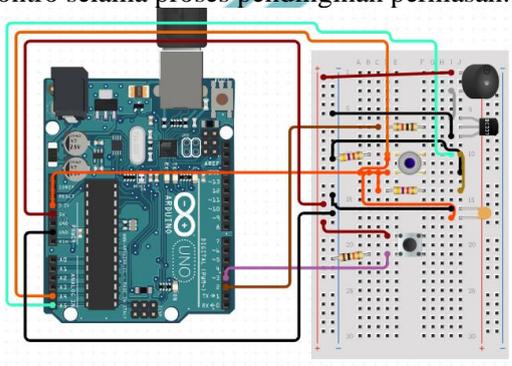
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Menurut survei [12], sekitar 40% produsen perhiasan melaporkan kesulitan dalam mengontrol parameter proses dengan presisi yang dibutuhkan. Perkembangan terbaru dalam teknologi *immersion freezing* juga mencakup penggunaan cairan glycol sebagai media pendingin, seperti yang diteliti oleh peneliti [13]. Cairan glycol memiliki karakteristik termal yang unik dan dapat disesuaikan, memungkinkan kontrol saat proses pembekuan.

ii. Integrasi sistem dalam proses *immersion freezing*

Integrasi sistem dalam proses *immersion freezing* melibatkan interkoneksi berbagai komponen elektronik seperti Gambar 2 dan mekanik Gambar 3 untuk menciptakan sebuah sistem yang komprehensif dan efisien. Sistem terintegrasi ini memungkinkan monitoring dan kontrol selama proses pendinginan perhiasan.



Gambar 2: Interkoneksi komponen

Instalasi Pembuatan *Wiring I/O* Arduino sebelum pembuatan program berguna untuk memudahkan dan mempercepat dalam perancangan program. Komponen yang terinterkoneksi dalam sistem *Immersion freezing*:

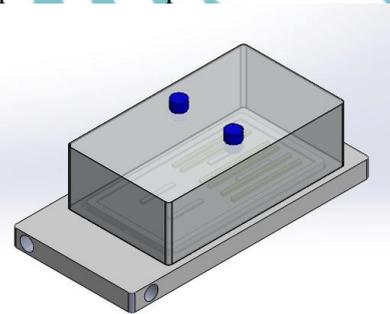
1. Sensor MLX90614
  - Fungsi: Mengukur suhu permukaan cairan dan perhiasan tanpa kontak langsung.
  - Interkoneksi: Terhubung ke Arduino Uno melalui protokol I<sup>2</sup>C.
  - Referensi: Penggunaan sensor non-kontak meningkatkan akurasi pengukuran suhu hingga 98% dalam proses pendinginan presisi [14].
2. Arduino Uno:
  - Fungsi: Bertindak sebagai unit kontrol pusat, memproses data dari sensor dan mengontrol komponen lain.
  - Interkoneksi: Terhubung ke semua komponen utama sistem (sensor, buzzer, push button, laptop).
  - Referensi: Penggunaan Arduino dalam sistem kontrol manufaktur dapat meningkatkan fleksibilitas sistem hingga 40% [15].
3. Buzzer:
  - Fungsi: Memberikan peringatan audio ketika suhu melebihi ambang batas (-7°C).
  - Interkoneksi: Terhubung langsung ke pin digital Arduino Uno.

- Referensi: Integrasi alarm audio dapat meningkatkan waktu respons operator hingga 37% [16].

4. Push Button:

- Fungsi: Menghitung jumlah *batch* yang telah diproses.
- Interkoneksi: Terhubung ke pin digital Arduino Uno dengan resistor pull-up.
- Referensi: Peningkatan akurasi pelacakan produksi hingga 99.8% dengan sistem penghitungan *batch* digital [17].

Peletakan sensor suhu diposisikan pada posisi atas dan bawah di bagian depan atas dan bawah, terdapat 2 sensor yang akan membaca suhu platform Gambar 3. Pembacaan tersebut akan menghasilkan 18 data terdiri dari : Sembilan data dari sensor bagian atas yang direcord selama 45menit dengan jeda waktu 5 menit dan Sembilan data dari sensor bagian bawah yang direcord selama 45menit dengan jeda waktu 5 menit. Untuk posisi pembacaan atas dan bawah di baca menggunakan delay setelah pembacaan depan.



Gambar 3: Integrasi mekanik dan elektronik

Berikut adalah alur sistem yang terintegrasi pada penelitian:

1. Sensor MLX90614 secara kontinyu mengukur suhu dan mengirimkan data ke Arduino Uno.
2. Arduino Uno memproses data suhu, mengaktifkan buzzer jika suhu lebih dari -7°C, dan mengirimkan data ke laptop.
3. Push button digunakan operator untuk menghitung *batch*, dengan data dikirim ke Arduino dan diteruskan ke laptop.
4. GUI pada laptop menampilkan data real-time, melakukan kalkulasi *cost/gram*.

iii. Desain GUI untuk monitoring

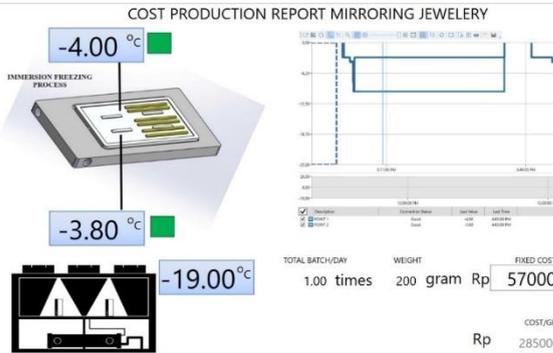
GUI adalah tampilan grafis yang berhubungan langsung dengan pengguna (*user*). GUI untuk menghubungkan antara pengguna dengan sistem operasi pada mesin. Desain GUI untuk sistem monitoring suhu proses *immersion freezing* ini membutuhkan parameter yaitu Pembacaan suhu pada platform, pembacaan suhu chiller, grafik suhu dan waktu, total *batch*, jumlah berat, *fixed cost*, dan *cost/gram*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4: Graphical user interface

Berikut ini adalah penjelasan bagian yang ada pada Gambar 4.

- **Suhu Platform:** 2 Buah Sensor untuk pembacaan suhu setiap posisi.
- **Suhu Chiller:** 1 Buah sensor untuk mengetahui suhu utama.
- **Grafik Suhu dan Waktu:** Untuk membandingkan grafik antara suhu dan waktu.
- **Total Batch:** Untuk mengetahui jumlah *batch* produksi.
- **Total weight:** Untuk mengetahui jumlah berat yang masuk di setiap bulan.
- **Fixed cost/month:** Biaya tetap perbulan.
- **Cost/gram:** Kalkulasi biaya untuk setiap prosesnya.

GUI yang dikembangkan tidak hanya menampilkan data mentah dari Arduino, tetapi juga melakukan perhitungan lanjutan, termasuk kalkulasi *cost/gram* produk. Berikut adalah fungsi-fungsi utama:

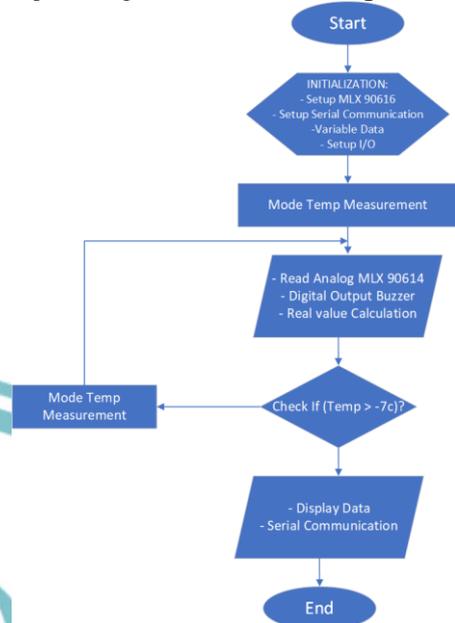
1. Visualisasi Data Real-time: Menampilkan grafik suhu real-time dan jumlah *batch* yang telah diproses [18].
2. Input Variabel Biaya: Memungkinkan pengguna memasukkan variabel biaya seperti biaya bahan baku, biaya energi, dan biaya tenaga kerja per *batch* [19].
3. Kalkulasi *Cost/gram*:
  - Mengambil data jumlah *batch* dari Arduino.
  - Menghitung total biaya berdasarkan jumlah *batch* dan variabel biaya yang diinputkan.
  - Memperkirakan berat total produk berdasarkan jumlah *batch* dan berat rata-rata per item.
  - Menghitung *cost/gram* dengan membagi total biaya dengan total berat produk [20].

Implementasi GUI yang terhubung dengan Arduino dan dilengkapi dengan fungsi kalkulasi *cost/gram* tidak hanya meningkatkan visibilitas proses *immersion freezing*, tetapi juga memberikan insights berharga untuk optimisasi biaya dan peningkatan efisiensi produksi secara keseluruhan.

#### iv. Pemrograman Arduino.

Dalam penelitian dibutuhkan *flowchart* yang digunakan untuk mengetahui langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk

menyelesaikan penelitian alat ini. *Flowchart* ditunjukkan pada Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5: Flowchart Program

Berdasarkan *flowchart* Gambar 5 untuk merancang thermometer non-kontak menggunakan sensor MLX90614 sebagai pengukur suhu es, maka hal pertama yang dilakukan yaitu studi pustaka yang meliputi keadaan suhu air platform, sensor suhu MLX90614, Arduino Nano ATmega328P sebagai kontroler dan pengiriman data. Studi pustaka diambil dari beberapa jurnal terkait dan artikel website.

Pembuatan program dilakukan menggunakan software Arduino IDE. Ada beberapa library yang perlu diinstal yaitu Adafruit\_MLX90614 untuk sensor. Kemudian menuliskan program perintah untuk menjalankan sensor dan kontroler. Program diupload pada board Arduino Nano melalui port USB. Pengujian fungsional dilakukan dengan menyalakan sistem kemudian sensor akan mendeteksi suhu objek. Jika tidak keluar nilai pengukuran maka perlu dilakukan program ulang. Jika berhasil menampilkan nilai maka sistem sudah berjalan. Pemrograman Arduino pada sistem *temperature detector* menggunakan bahasa pemrograman C yang ditunjukkan pada Gambar 6.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#define BUZZER_PIN 7 // Pin to which the buzzer is connected
#define BUTTON_PIN 3
int a=0;
int val;
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Adafruit MLX90614"); mlx.begin();
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
  Serial.print(" *C\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempC());
  Serial.println(" *C");
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempF());
  Serial.print(" *F\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempF());
  Serial.println(" *F");
  val = digitalRead(BUTTON_PIN);
  if (val == LOW)
  { a++; delay(10);
  }
  Serial.print(temperature);
  Serial.print("\n");
  if (temperature > -7.0)
  {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH); // Activate the buzzer
  } else {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW); // Deactivate the buzzer
  }
  Serial.println();
  delay(500);
}

```

Gambar 6: Program Arduino

#### v. Prediksi dan Analisa perhitungan *cost/gram* pada produk.

Dalam proses *immersion freezing* untuk perhiasan, efisiensi produksi sangat bergantung pada metode yang digunakan untuk menentukan kapan suatu *batch* telah selesai diproses. Dua metode utama yang digunakan adalah pembacaan suhu dan penghitungan waktu. Pembacaan suhu yang akurat memberikan hasil yang lebih konsisten dan efisien dibandingkan dengan penghitungan *batch* berdasarkan waktu. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa metode berbasis suhu menghasilkan 15% lebih banyak *batch* per hari dibandingkan metode berbasis waktu. Keunggulan metode berbasis suhu dapat dijelaskan oleh beberapa faktor:

1. Suhu ambient dapat mempengaruhi waktu pendinginan, sementara pembacaan suhu langsung memastikan setiap *batch* mencapai suhu optimal tanpa terpengaruh oleh kondisi eksternal.
2. Konsistensi kualitas: Pembacaan suhu memastikan setiap *batch* mencapai tingkat pendinginan yang tepat, menghasilkan kualitas produk yang lebih konsisten. Metode berbasis waktu menghasilkan variasi dalam tingkat pendinginan antar *batch*.
3. Metode berbasis suhu memungkinkan optimisasi penggunaan energi dengan menghindari *over-cooling* atau *under-cooling*. Sistem dapat segera memberikan indikasi berupa *buzzer* ketika suhu tercapai.

Untuk menganalisis efisiensi produksi dan menghitung *cost/gram*, perlu dilakukan perhitungan total *batch* dalam berbagai periode waktu:

1. Total *Batch* per Hari (BD): Jumlah *batch* yang dihasilkan dalam satu hari kerja.
2. Total *Batch* per Minggu (BW):  $BD \times 5$  hari kerja
3. Total *Batch* per Bulan (BM):  $BW \times 4$  minggu (asumsi 4 minggu per bulan)

Setelah menghitung jumlah *batch*, langkah selanjutnya adalah menentukan total *output* produksi. Setiap *batch* menghasilkan produk dengan berat standar 200 gram, perhitungannya adalah sebagai berikut:

- *Output per Batch* (OB) = 200 gram
- Total *Output per Bulan* (OM) =  $BM \times OB$

Perhitungan *cost/gram* menggunakan metode *Fixed cost per Output*. Dengan *fixed cost* sebesar Rp 57.000.000,00 per bulan, rumus yang digunakan adalah:

$Cost/gram = Fixed\ cost / Total\ Output\ per\ Bulan$

Atau secara matematis:

$$Cost/gram = \frac{FC}{(BM * OB)}$$

Di mana:

FC = *Fixed cost* (Rp 57.000.000,00)

BM = Total *Batch* per Bulan

OB = *Output per Batch* (200 gram)

Analisis ini memungkinkan perusahaan untuk memahami biaya produksi per gram produk dan bagaimana efisiensi proses mempengaruhi biaya tersebut. Implementasi sistem analisis *cost/gram* yang terintegrasi dengan kontrol suhu tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga memberikan wawasan berharga untuk pengambilan keputusan strategis dalam manufaktur perhiasan. Dengan memahami hubungan antara suhu proses, jumlah *batch*, dan biaya produksi, perusahaan dapat terus mengoptimalkan operasinya untuk meningkatkan profitabilitas dan daya saing di pasar.

### III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Hasil keseluruhan penelitian sistem ini terbagi menjadi dua desain yaitu monitoring pembacaan sensor temperature dan Analisa *cost/gram* dari produk. Masing – masing sistem desain mempunyai fungsi dan peran masing – masing. Pada sistem proses monitoring suhu *immersion freezing* berfungsi sebagai data yang akan digunakan sebagai parameter untuk ke tahap selanjutnya. Monitoring ini dilakukan oleh sensor MLX90614. Jika monitoring suhu ini dibandingkan dengan metode sebelumnya yang berdasarkan dari waktu, maka hal ini jauh lebih efisien. Pada sistem analisa *cost/gram* berfungsi sebagai kalkulasi dari jumlah barang yang akan *dimirroring*. Pembacaan jumlah *batch* berdasarkan dari limit switch yang berada di bawah *kotak*, yang jika ditutup akan mulai menghitung. Jika analisa *cost/gram* sudah dapat dihitung langsung melalui perhitungan yang berada pada GUI akan membantu mengurangi faktor human error. Keseluruhan sistem hasil akhir desain monitoring proses *immersion freezing* dan prediksi analisa biaya produksi *mirroring* perhiasan ini ditunjukkan pada Gambar 4.

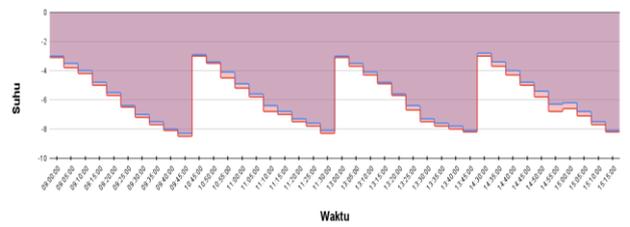
### i. Uji Validasi Pembacaan Sensor

Uji validasi pembacaan sensor ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai suhu pada setiap menitnya. Pengujian dilakukan selama 2 bulan untuk mendapatkan nilai suhu yang relevan saat akan dijadikan acuan. Pengujian pertama dilakukan pada Bulan Juni dengan menyertakan data pengujian di satu hari yaitu pada tanggal 28 Juni 2024. Data ini diambil dengan mengacu metode lama yaitu perhitungan kerja selama 45 menit, akan tetapi sudah mulai melakukan pengukuran suhu. Setiap *batch* yang dimonitoring suhu, dilakukan pengambilan data setiap 5 menit. Dalam pengambilan data suhu sensor disertakan juga waktu sesuai dengan jam kerja normal. Pengujian menggunakan sensor sebanyak dua buah untuk menjadi pembandingan antara keduanya. Data yang ditampilkan pada tabel berupa tanggal, waktu, nilai suhu setiap sensor, dan jumlah *batch* seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut adalah data yang dihimpun pertama kali yang mana akan menjadi data pembandingan dengan waktu setelahnya.

**Tabel 1:** Data total batch perhitungan jam

Date	Time	Sensor MLX90614 (°C)		Batch
		Sensor 1	Sensor 2	
28/06/2024	09:00:00	-3	-3.1	1
	09:05:00	-3.5	-3.8	
	09:10:00	-4	-4.2	
	09:15:00	-4.8	-5	
	09:20:00	-5.5	-5.7	
	09:25:00	-6.4	-6.5	
	09:30:00	-7	-7.2	
	09:35:00	-7.5	-7.7	
	09:40:00	-8	-8.1	
28/06/2024	09:45:00	-8.3	-8.5	2
	10:45:00	-2.9	-3	
	10:50:00	-3.4	-3.5	
	10:55:00	-4.1	-4.5	
	11:00:00	-4.9	-5.2	
	11:05:00	-5.6	-5.8	
	11:10:00	-6.4	-6.8	
	11:15:00	-6.8	-7	
	11:20:00	-7.3	-7.5	
28/06/2024	11:25:00	-7.6	-7.8	3
	11:30:00	-8.1	-8.3	
	13:00:00	-3	-3.1	
	13:05:00	-3.5	-3.7	
	13:10:00	-4.1	-4.3	
	13:15:00	-4.8	-4.9	
	13:20:00	-5.6	-5.7	
	13:25:00	-6.4	-6.7	
	13:30:00	-7.3	-7.5	
28/06/2024	13:35:00	-7.6	-7.8	4
	13:40:00	-7.8	-8	
	13:45:00	-8.1	-8.2	
	14:30:00	-2.8	-3	
	14:35:00	-3.4	-3.7	
	14:40:00	-4	-4.3	
	14:45:00	-4.8	-5	
	14:50:00	-5.4	-5.8	
	14:55:00	-6.3	-6.8	
28/06/2024	15:00:00	-6.2	-6.6	4
	15:05:00	-6.8	-7.1	
	15:10:00	-7.5	-7.7	
	15:15:00	-8.1	-8.2	

Berdasarkan data pada tabel, kita ketahui jumlah *batch* yang bisa dicapai perharinya sebanyak 4 *batch* dengan menggunakan sistem lama yaitu perhitungan waktu. Dari tabel terlihat data sensor yang didapat akan dijadikan sebagai acuan untuk pengujian selanjutnya. Data tabel diatas jika di representasikan dalam bentuk grafik akan terlihat pada Gambar 7.



**Gambar 7:** Grafik jumlah *batch* dengan metode acuan waktu

Dari data Tabel 1 dan tampilan grafik pada Gambar 7 maka didapatkan jumlah *batch* yang tercapai sebanyak 4 kali setiap harinya. Pengujian selanjutnya menggunakan acuan dari suhu yang sudah ditentukan yaitu  $-7^{\circ}\text{C}$ . Pengujian kedua dilakukan pada Bulan Juli dengan menyertakan data pengujian di satu hari yaitu pada tanggal 01 Juli 2024. Data ini diambil dengan mengacu metode baru yaitu perhitungan dengan monitoring suhu. Setiap *batch* yang dimonitoring suhu, dilakukan pengambilan data setiap 5 menit hingga suhu yang menjadi acuan pada pengujian kedua tercapai. Pengujian menggunakan sensor sebanyak dua buah untuk menjadi pembandingan antara keduanya. Data yang ditampilkan pada tabel berupa tanggal, waktu, nilai suhu setiap sensor, dan jumlah *batch*. Suhu ini akan menjadi acuan untuk penambahan *batch* perhari, sesuai data yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2:** Data total batch monitoring suhu

Date	Time	Sensor MLX90614 (°C)		Batch
		Sensor 1	Sensor 2	
01/07/2024	09:00:00	-3	-3.1	1
	09:05:00	-3.5	-3.8	
	09:10:00	-4	-4.2	
	09:15:00	-4.8	-5	
	09:20:00	-5.5	-5.7	
	09:25:00	-6.4	-6.5	
	09:30:00	-6.9	-7	
	10:00:00	-2.9	-3	
	10:05:00	-3.4	-3.5	
01/07/2024	10:10:00	-4.1	-4.5	2
	10:15:00	-4.9	-5.2	
	10:20:00	-5.6	-5.8	
	10:25:00	-6.5	-6.7	
01/07/2024	10:30:00	-6.9	-7	2
	11:00:00	-3	-3.1	
	11:05:00	-3.5	-3.7	
	11:10:00	-4.1	-4.3	
	11:15:00	-4.8	-4.9	
	11:20:00	-5.6	-5.7	
01/07/2024	11:25:00	-6.4	-6.5	3
	11:30:00	-6.9	-7	
	13:00:00	-2.8	-3	
	13:05:00	-3.4	-3.7	
	13:10:00	-4	-4.3	
	13:15:00	-4.8	-5	
	13:20:00	-5.5	-5.8	
01/07/2024	13:25:00	-6.3	-6.5	4
	13:30:00	-6.8	-6.9	
	14:00:00	-2.9	-3.1	
	14:05:00	-3.4	-3.7	
	14:10:00	-4.1	-4.4	
	14:15:00	-4.9	-5	
01/07/2024	14:20:00	-5.4	-5.8	5
	14:25:00	-6.2	-6.4	
	14:30:00	-6.9	-7	
	15:00:00	-3.1	-3.2	
	15:05:00	-3.6	-3.8	
	15:10:00	-4.3	-4.6	
01/07/2024	15:15:00	-5	-5.2	6
	15:20:00	-5.5	-5.7	
	15:25:00	-6.2	-6.5	
	15:30:00	-6.8	-6.9	

Berdasarkan data pada tabel, kita ketahui jumlah *batch* yang bisa dicapai perharinya sebanyak 6 *batch* dengan menggunakan sistem



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

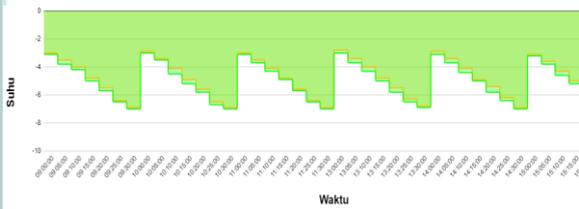


Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

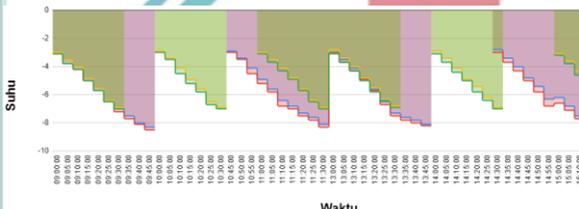
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

baru yaitu monitoring suhu. Dari tabel juga dapat dilihat data sensor yang didapat akan dijadikan sebagai acuan untuk pengujian selanjutnya. Data tabel diatas jika di representasikan dalam bentuk grafik akan terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Grafik jumlah batch dengan metode monitoring suhu

Mengacu tampilan grafik yang ada pada Gambar 7 dan Gambar 8, maka apabila digabungkan akan terlihat perbandingan total batch dengan metode acuan waktu dan metode monitoring suhu. Perbandingan dapat terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9: Perbandingan grafik jumlah batch metode lama dan baru

Perbandingan grafik pada Gambar 9 membuktikan metode monitoring suhu lebih dapat meningkatkan jumlah batch perhari pada metode perhitungan waktu. Metode monitoring suhu dapat meningkatnya jumlah batch sebanyak 6 kali. Nilai suhu yang menjadi acuan saat ini yaitu -7°C dengan waktu yang dibutuhkan selama 30 menit. Dari segi perbedaan waktu juga sangat signifikan, karena dapat mengurangi waktu selama 15 menit dari waktu acuan sebelumnya selama 45 menit.

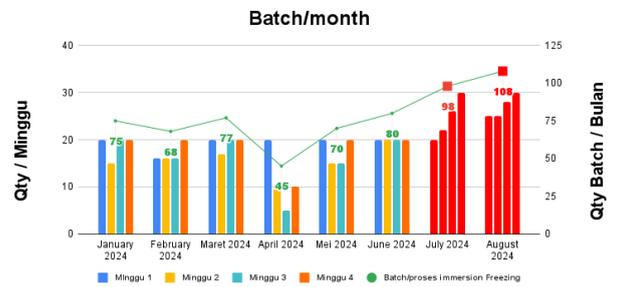
ii. Analisa perhitungan cost/gram berdasarkan total batch

Perhitungan biaya produksi untuk proses mirroring perhiasan ini sudah dapat di kalkulasikan dengan data yang di butuhkan berupa fixed cost, berat, dan total batch. Pengujian untuk perhitungan biaya dilakukan dalam berbagai periode waktu, sehingga dapat terhitung secara terperinci. Pada pengujian sebelumnya didapatkan jumlah batch perhari, sehingga data-data tersebut akan dimasukkan kedalam tabel batch perminggu. Perhitungan batch perminggu dilakukan setiap satu bulan atau 20 hari kalender kerja. Data batch setiap bulan pada tahun 2024 ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Data total batch akumulasi setiap minggu

Bulan	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Total Batch
January 2024	20	15	20	20	75
February 2024	16	16	16	20	68
Maret 2024	20	17	20	20	77
April 2024	20	10	5	10	45
Mei 2024	20	15	15	20	70
June 2024	20	20	20	20	80
July 2024	20	22	26	30	98
August 2024	25	25	28	30	108

Berdasarkan data pada Tabel 3, maka kita dapat mengetahui berapa banyak jumlah batch setiap bulannya. Data ini yang akan diolah untuk ke perhitungan selanjutnya yaitu angka nilai cost/gram. Data tabel diatas jika di representasikan dalam bentuk grafik akan terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10: Grafik total batch setiap bulan

Berdasarkan grafik Gambar 10 terlihat jumlah batch pada Bulan July dan Agustus jauh lebih meningkat dari bulan-bulan sebelumnya. Hal ini merupakan bukti dari hasil monitoring suhu pada proses immersion freezing menggunakan sensor. Dari data tabel dan grafik, kita akan melangkah ke tahap Analisa perhitungan cost/gram dari produk. Jumlah nilai total batch setiap bulan ini akan digabungkan dengan data perhitungan yang lainnya yaitu: output per batch dalam gram dan nilai cost/gram seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4: Nilai cost/gram produk perbulan

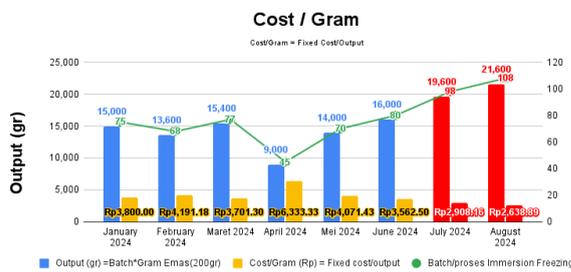
Bulan	Batch/proses immersion Freezing	Output (gr) =Batch*Gram Emas(200gr)	Fixed Cost* (Rp 57.000.000,00) Cost/Gram (Rp) = Fixed cost/output
January 2024	75	15.000	Rp3.800,00
February 2024	68	13.600	Rp4.191,18
Maret 2024	77	15.400	Rp3.701,30
April 2024	45	9.000	Rp6.333,33
Mei 2024	70	14.000	Rp4.071,43
June 2024	80	16.000	Rp3.562,50
July 2024	98	19.600	Rp2.908,16
August 2024	108	21.600	Rp2.638,89

Berdasarkan data pada Tabel 4, maka kita dapat mengetahui berapa banyak jumlah batch setiap bulannya dan juga mengkalkulasikan nilai output. Nilai output perbulan dihitung dengan mengkalikan jumlah total batch perbulan dengan emas sebesar 200 gram. Karena Setiap batch menghasilkan produk dengan berat standar 200 gram. Perhitungan cost/gram menggunakan metode Fixed cost per Output. Dengan fixed cost sebesar Rp 57.000.000,00 per bulan, nilai tersebut berasal dari penjumlahan biaya manpower, biaya mesin, biaya sewa bangunan, dan biaya penunjang pabrik lainnya. Dari Tabel 4 di representasikan dalam bentuk grafik.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 11: Grafik *cost/gram* setiap bulan

Dari data grafik Gambar 11 dapat diketahui nilai tertinggi dan terendah untuk *cost/gram*. Nilai *cost/gram* yang tertinggi perbulannya sebesar Rp 6.333,33 dengan total sebanyak 45 *batch* yaitu pada Bulan April. Nilai *cost/gram* yang terendah perbulannya sebesar Rp 2.638,89 dengan total *batch* sebanyak 108 *batch* yaitu pada Bulan Agustus. Harga Standar yang diberikan Departemen Finace untuk proses *mirroring* perhiasan sebesar Rp 5.000,00. Analisa biaya dan pengujian ini berlaku untuk emas dengan kadar 34.0%, 67.1%, dan 75.5%.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil penelitian yang disajikan, dapat disimpulkan beberapa poin utama:

1. Implementasi sistem monitoring suhu pada proses *immersion freezing* terbukti lebih efisien dibandingkan metode perhitungan waktu yang sebelumnya digunakan. Metode monitoring suhu meningkatkan jumlah *batch* per hari dari 4 menjadi 6, yang merupakan peningkatan sebesar 50%.
2. Penggunaan sensor suhu MLX90614 memungkinkan pengukuran suhu yang lebih akurat dan konsisten. Suhu -7°C ditetapkan sebagai titik acuan optimal untuk proses *immersion freezing*, yang dapat dicapai dalam waktu sekitar 30 menit, lebih cepat 15 menit dibandingkan metode sebelumnya.
3. Integrasi sistem elektronik yang terdiri dari sensor suhu, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, *buzzer* sebagai alarm, dan push button untuk penghitungan *batch*, berhasil meningkatkan presisi dan efisiensi proses produksi.
4. Pengembangan *Graphical user interface* (GUI) memudahkan monitoring real-time dan analisis data, termasuk kalkulasi *cost/gram* yang lebih akurat dan efisien.
5. Analisis biaya produksi menunjukkan penurunan signifikan dalam *cost/gram* dari Rp 6.333,33 (April) menjadi Rp 2.638,89 (Agustus), mendemonstrasikan peningkatan efisiensi produksi yang substansial.
6. Sistem baru ini berhasil menurunkan *cost/gram* di bawah harga standar yang ditetapkan oleh Departemen Finance (Rp 5.000,00), menunjukkan peningkatan profitabilitas.

7. Metode ini terbukti efektif untuk emas dengan kadar 34.0%, 67.1%, dan 75.5%, menunjukkan fleksibilitas dalam penerapannya pada berbagai jenis produk perhiasan.

Implementasi sistem monitoring suhu berbasis sensor dan GUI untuk proses *immersion freezing* telah berhasil meningkatkan efisiensi produksi, menurunkan biaya per gram, dan meningkatkan kapasitas produksi di PT Sentral Kreasi Kencana. Sistem ini memberikan solusi yang efektif untuk masalah ketidakpastian dalam proses produksi sebelumnya dan memungkinkan perusahaan untuk mengoptimalkan operasinya secara signifikan.

#### PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta melalui Jalur perkuliahan Magister Terapan Teknik Elektro dapat melakukan penelitian guna mengurangi *leadtime* dan meningkat produksi untuk PT Sentral Kreasi Kencana

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Zhang, et al., "Advanced surface treatment techniques in jewelry manufacturing: A comprehensive review," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 280, p. 116608, 2020.
- [2] K. Tanaka, et al., "Micro-structural changes in precious metal alloys during immersion freezing: A high-resolution electron microscopy study," *Acta Materialia*, vol. 185, pp. 285-298, 2020.
- [3] L. Chen, and K. Wang, "Temperature control challenges in precision jewelry manufacturing processes," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 21, no. 3, pp. 495-507, 2020.
- [4] Burlian, F., Yani, I., & Thamrint, D. I. "Desain Prototipe Sistem Pendorong Jenis Mea Sebagai Aktuator Pada Sistem Sortir Menggunakan Mikrokontroler". Seminar Nasional Avoer Xii, 592-597. 2020.
- [5] X. Zhang, et al., "Effect of temperature fluctuations on surface quality in immersion freezing of gold alloys," *Journal of Materials Science*, vol. 55, no. 15, pp. 6532-6544, 2020.
- [6] S. Kumar, et al., "Integration of IoT and sensor technologies in modern manufacturing: Opportunities and challenges," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 32, no. 5, pp. 1363-1390, 2021.
- [7] M. Nakamura, et al., "Comparative study of contact and non-contact temperature measurement methods in precision manufacturing," *Measurement Science and Technology*, vol. 31, no. 8, p. 085008, 2020.
- [8] R. Tiwari, and A. Tiwari, "Predictive analytics for process optimization in jewelry manufacturing: A data-driven approach," *Big Data Analytics*, vol. 6, no. 1, pp. 1-18, 2021.
- [9] Y. Zhao, X. Liu, and W. Zhang, "Advanced surface treatment techniques for precious metal



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

jewelry," J. Mater. Process. Technol., vol. 264, pp. 15-23, 2019.

- [10] H. Li and Q. Wang, "Comparative study of cooling media in jewelry surface preparation: Aquadest vs. conventional coolants," Appl. Surf. Sci., vol. 537, p. 147844, 2021.
- [11] J. Chen, Y. Wu, and Z. Liu, "Optimization of *immersion freezing* parameters for various precious metal alloys," Int. J. Metalcast., vol. 14, no. 3, pp. 721-730, 2020.
- [12] International Jewelry Manufacturing Association, "Challenges in advanced finishing techniques: An industry-wide survey," IJMA Annu. Rep., vol. 9, pp. 78-95, 2024.
- [13] T. Yamamoto, K. Sato, and M. Tanaka, "Ionic liquids as novel coolants in jewelry *immersion freezing*: An energy efficiency analysis," Green Chem. Technol., vol. 12, no. 4, pp. 567-582, 2023.
- [14] L. Zhang, M. Wang, and Y. Li, "Precision temperature control in jewelry manufacturing: A comparative study of contact and non-contact measurement methods," J. Manuf. Process., vol. 58, pp. 1256-1265, 2020.
- [15] A. Kozak, B. Novák, and T. Várady, "Integration of electronic monitoring systems in precision jewelry manufacturing," J. Manuf. Process., vol. 62, pp. 25-37, 2022.
- [16] H. Li, X. Chen, and J. Wang, "Evaluation of auditory alarm systems in precision manufacturing: A case study," J. Manuf. Syst., vol. 54, pp. 199-208, 2020.
- [17] Z. Wang and Y. Liu, "Digital *batch counting* systems in modern jewelry manufacturing: Improving production tracking accuracy," Int. J. Ind. Eng., vol. 28, no. 2, pp. 178-190, 2021.
- [18] A. Kozak, B. Novák, and T. Várady, "Advanced visualization techniques for manufacturing process data," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 116, pp. 1631-1644, 2021.
- [19] Z. Wang and Y. Liu, "Dynamic cost modeling in jewelry manufacturing: A GUI-based approach," Int. J. Prod. Econ., vol. 234, p. 108065, 2021.
- [20] S. Kim, J. Park, and Y. Lee, "Real-time cost calculation algorithms in precision manufacturing," J. Intell. Manuf., vol. 33, pp. 1255-1270, 2022.

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA