

*Diterbitkan Oleh Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pelita Harapan*



UPH
UNIVERSITAS PELITA HARAPAN



EDITORIAL TEAM

Pimpinan Redaksi [*Editor in Chief*]

1. Prof. Dr. Ir. Melanie Cornelia, M.T.
2. Prof. Dr. Henri P. Uranus
3. Dr. Ing-. Ihan Martoyo

Dewan Redaksi [*Editorial Board*]

1. Prof. Dr. Ir. Wiryanto Dewobroto, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Adolf Parhusip, M.Si
3. Prof. Dr. A'azokhi Waruwu, S.T., M.T.
4. Eric Jobiliong, Ph.D.
5. Dr. Nuri Arum Anugrahati, S.Si., M.P.
6. Prof. Dr. Hardoko
7. Prof. Dr.-Ing. Aziz Boing Sitanggang, S.TP, M.Sc.
8. Dr. Satya Nugroho
9. Prof. Dr.-Ing. Amalia Suzianti, S.T., M.Sc.
10. Dr. Ir. Lukas, MAI., CISA., IPM.

Staff Redaksi [*Editorial Staff*]

1. Priskila Christine Rahayu, S.Si., M.T.
2. Julinda Pangaribuan, S.Si., M.T.
3. Gracio A. Rhizma, M.T.
4. Verel Salomo Ulyano Simatupang, S.T.

Administrasi dan Keuangan [*Administration and Finance*]

1. Adelia Lorenza Br. Peranginangin, S.Pd., B.Ed.

DAFTAR ISI

1. Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara, Kecepatan Angin, dan Arah Angin Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Visualisasi data menggunakan Blynk [Design of Air Quality, Wind Speed, and Wind Direction Monitoring System Using ESP32 Microcontroller and Data Visualization using Blynk]. Oleh: Abdur Rahman Haritsah, Henri Uranus..... 1-11
2. Pengembangan dan Perancangan Alat Potong Sayur dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD) [Vegetable Cutting Tools Development and Design Using Quality Function Deployment (QFD) Method]. Oleh: Fanny Limiyana, Sylvia..... 12-24
3. Evaluation of Plantaricin Gene Expression in *Lactiplantibacillus plantarum* Strain Su-KC1a [Evaluasi Ekspresi Gen Plantaricin pada *Lactiplantibacillus Plantarum* Strain Su-KC1a). Oleh: Marcelia Sugata, Jessica Sunardi, Hans Victor, Tjie Jan Tan..... 25-31
4. Optimasi Tata Letak Penyimpanan Bahan Baku Menggunakan Metode Penyimpanan Berbasis Kelas di PT. XYZ [Optimization of Raw Material Storage Layout Using A Class-Based Storage Method at PT. XYZ]. Oleh: Kurniawan Dwi Putra, Agustina Christiani, Christopher Nata 32-43
5. Efek Edible Coating dengan Penambahan Ekstrak Daun Jati pada Mutu Daging Sapi Segar [Effect of Edible Coating with Addition of Teak Leaf Extract on The Quality of Fresh Beef]. Oleh: Helenna Meldi, Ratna Handayani. 44-54
6. Pemanfaatan Tepung Labu Kuning (*Cucurbita moschata* Duchesne) pada Pembuatan Baby Puff [Utilization of Pumpkin Flour (*Cucurbita moschata* Duchesne) in The Making of Baby Puff]. Oleh: Melanie Cornelia, Heidi Maulani 55-64
7. Pemanfaatan R untuk Komputasi Simbolik [The Utilization of R for Symbolic Computation)]. Oleh: I Gusti Agung Anom Yudistira..... 65-73
8. Karakteristik Mikroenkapsulat Minyak Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lam.) Berdasarkan Rasio Core To Coating pada Metode Gelasi Ion [Characteristics of Red Fruit Oil Microencapsulates (*Pandanus conoideus* Lam.) Based on Core to Coating Ratio at Ion Gelation Method]. Oleh: Titri Siratantri Mastuti, Angela Michelle Gunawan.. 74-90
9. Modifikasi Sistem Cutting Body Ply pada Mesin Building Menggunakan PLC Allen-Bradley [Modification of Bodyply Cutting System on Building Machines Using Allen-Bradley PLC]. Oleh: Mario Gracio A. Rhizma, Denson Siburian, Henri P. Uranus... 91-97
10. Enhancing School Efficiency with A Web-Based E-Reporting System [Peningkatan Efisiensi Sekolah dengan Sistem E-Reporting Berbasis Web]. Oleh: Monika Karnadi, Priskila Christine Rahayu, Christopher Nata..... 98-107
11. Pemanfaatan Kolagen dari Limbah Ikan Tuna dalam Meningkatkan Pertumbuhan *Bacillus Subtilis* sebagai Kandidat Probiotik [Utilization of Collagen from Tuna Fish Waste to Enhance The Growth of *Bacillus Subtilis* as A Probiotic Candidate]. Oleh: Suawa Natania Abigail Christy, Accoladea Wijaya, Angela Clarita Putri, Jennifer Claudia Suryadi, Cecilia Aileen Yap, Chelsea Valeria Simamora, Jennifer Patricia Tjhajadi, Celeste Abigail Thanos, Gisella Theodora, Michella Irawan, Veronica Tammy Soputro, Adrian Samuel Thenoch, Reinhard Pinontoan dan Juandy Jo..... 108-119
12. Technical Analysis of Prestress Loss in Y Bridge Girders: Post-Tensioning System [Analisis Teknikal Kehilangan Prategang pada Girder Jembatan Y: Sistem Pascatarik]. Oleh: Sadvent M Purba, Prajna Ardhika 120-127

Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara, Kecepatan Angin, dan Arah Angin Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Visualisasi Data Menggunakan Blynk

[Design of Air Quality, Wind Speed, and Wind Direction Monitoring System Using ESP32 Microcontroller and Data Visualization Using Blynk]

Abdur Rahman Haritsah^{1*}, Henri P. Uranus²,

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pelita Harapan, Karawaci
Universitas Pelita Harapan Jl. M.H Thamrin Boulevard, Lippo Village, Tangerang

*Korespondensi penulis: 01035220002@student.uph.edu

ABSTRACT

Air quality, wind speed, and wind direction monitoring system is a system that can measure environmental parameters that affect human health and comfort, as well as displaying real-time measurement data through an application. This system is designed and built using ESP32 microcontroller and data visualization using Blynk IoT platform. The system consists of three main components, namely sensors, microcontroller, and IoT platform. The sensors used are DHT22 sensor to read temperature and humidity, MQ135 sensor to read CO₂ concentration, anemometer sensor to read wind speed, and wind direction sensor to read wind direction. These sensors send data to the ESP32 microcontroller, which then processes the data and sends it to the Blynk server via an internet connection. In addition, the measurement data is also automatically sent to a Google Spreadsheet using the Google Sheets API. This allows users to save data in a tabular format, perform further analysis, and store measurement history in the cloud. The Blynk app displays measurement data in the form of graphs, numbers, and color indicators. The test showed that the system can function well in measuring environmental parameters. Verification showed that the average relative errors in reading the parameters are as follows: temperature 1.7%, humidity 1.63%, CO₂ concentration 1.99%, and wind speed 0.02%. These error values are within accepted tolerance level, hence the system is sufficiently accurate to measure environmental conditions.

Keywords: *ESP32 microcontroller, environmental monitoring system, IoT, Blynk*

ABSTRAK

Sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin adalah sistem yang dapat mengukur parameter-parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan dan kenyamanan manusia, serta menampilkan data hasil pengukuran melalui aplikasi. Sistem ini dirancang dan dibangun dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan visualisasi data menggunakan platform IoT Blynk. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sensor, mikrokontroler, dan platform IoT. Sensor yang digunakan adalah sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂, sensor anemometer untuk membaca kecepatan angin, dan sensor arah angin untuk membaca arah angin. Sensor-sensor ini mengirim data ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengolah data dan mengirimnya ke server Blynk melalui koneksi internet. Selain itu, data hasil pengukuran juga dikirimkan secara otomatis ke Google Spreadsheet menggunakan API Google Sheets. Hal ini memungkinkan pengguna untuk menyimpan data dalam format tabel, melakukan analisis lanjutan, dan menyimpan riwayat pengukuran di awan. Aplikasi Blynk menampilkan data hasil pengukuran dalam bentuk grafik, angka, dan indikator warna. Pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik dalam mengukur parameter lingkungan. Verifikasi menunjukkan rata-rata persentase

kesalahan relatif pembacaan pada setiap parameter adalah sebagai berikut: suhu sebesar 1,75%, kelembapan sebesar 1,63%, konsentrasi CO₂ sebesar 1,99%, dan kecepatan angin sebesar 0,02%. Tingkat kesalahan ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem cukup akurat dalam membaca data lingkungan.

Kata kunci: Mikrokontroler ESP32, sistem monitoring lingkungan, IoT, Blynk

PENDAHULUAN

Dalam era modern yang diwarnai oleh pertumbuhan perkotaan yang pesat, polusi udara telah menjadi perhatian utama bagi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan (Rosatul Umah & Eva Gusmira, 2024). Tingkat konsentrasi CO₂, serta zat-zat kimia lainnya dari berbagai sumber seperti industri, kendaraan bermotor, dan aktivitas manusia telah menyebabkan peningkatan tingkat polusi udara yang serius di berbagai kota besar di seluruh dunia (Satish *et al.*, 2012). Dampak buruk dari polusi udara ini terhadap kesehatan manusia tidak dapat diabaikan, karena dapat menyebabkan berbagai masalah pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan bahkan meningkatkan risiko terkena penyakit kronis (Satish *et al.*, 2012).

Untuk menangani masalah ini, pemantauan yang akurat terhadap kualitas udara menjadi sangat penting (Ismail *et al.*, 2021). Namun, sistem pemantauan yang efisien, terjangkau, dan dapat memberikan data secara *real-time* seringkali sulit diakses atau mahal (Yanti, 2024). Pengembangan

solusi yang dapat memberikan informasi yang jelas dan mudah dipahami tentang kualitas udara serta parameter lingkungan lainnya seperti kecepatan dan arah angin menjadi semakin mendesak (Pebralia *et al.*, 2024).

Dalam konteks ini, teknologi mikrokontroler ESP32 menawarkan potensi yang sangat besar. ESP32 tidak hanya memiliki kemampuan sensor yang luas, tetapi juga konektivitas WiFi yang memungkinkan pemantauan secara cepat dari jarak jauh melalui internet (Hercog *et al.*, 2023; Dafa *et al.*, 2023). Kombinasi ini memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan tepat waktu mengenai kualitas udara serta faktor lingkungan lainnya yang dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang polusi dan kondisi lingkungan.

Selain itu, integrasi dengan *platform* visualisasi data seperti Blynk membuka pintu bagi penggunaan yang lebih mudah dan nyaman dari data yang dikumpulkan (Indobot Project, 2023). Visualisasi yang jelas dan mudah dipahami akan memungkinkan pengguna, termasuk masyarakat umum, dan bahkan pemerintah, untuk mengambil tindakan

yang tepat secara cepat dalam menanggapi perubahan kondisi lingkungan (Lynn *et al.*, 2020).

Oleh karena itu, merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin menggunakan mikrokontroler ESP32 serta visualisasi data menggunakan Blynk menjadi langkah inovatif yang dapat memberikan solusi konkret dalam menangani permasalahan lingkungan yang mendesak ini. Dengan menyediakan informasi yang dapat diakses secara luas dan dipahami dengan mudah, sistem ini dapat menjadi instrumen yang efektif dalam menjaga kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan di masa yang akan datang (Lynn *et al.*, 2020).

METODE PENELITIAN

Konsep dan Perancangan Alat

Konsep utama alat ini adalah memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau dan mengumpulkan data terkait kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin di lokasi pemantauan dengan sumber daya dari modul surya. Dalam sub bab ini, kami akan menjelaskan rancangan sistem yang dibuat, termasuk perangkat keras yang digunakan dan cara sistem ini berinteraksi untuk mencapai tujuan

pemantauan lingkungan yang efektif.

Pada alat ini terdapat beberapa bagian yang dirancang sebagai berikut:

1) Perancangan Power System

Power system adalah sistem yang memberikan sumber energi listrik untuk alat sistem monitoring yang di bangun. *Power system* ini menggunakan modul surya yang terhubung ke *Solar Charge Controller*. Modul surya mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). *Solar Charge Controller* mengendalikan aliran listrik yang ke dalam baterai (aki) dan mencegah *over-charge* maupun *over-discharge*. Baterai (aki) menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dan memasoknya kembali saat modul surya tidak menghasilkan energi

2) Perancangan Sistem Sensor

Pada rancangan alat digunakan beberapa sensor seperti sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂ pada udara, Sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, sensor arah angin untuk membaca arah angin, dan sensor kecepatan angin untuk membaca kecepatan angin.

Untuk membaca kualitas udara, ada beberapa sensor yang bisa digunakan seperti sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂ dan sensor PMS5003 untuk membaca kadar *Particulate Matter* (PM). Pada perancangan alat ini digunakan sensor MQ135.

Sensor MQ135 dipilih karena harganya yang murah dan memiliki output data analog sehingga lebih mudah diproses oleh mikrokontroler ESP32 dibandingkan dengan sensor PMS5003.

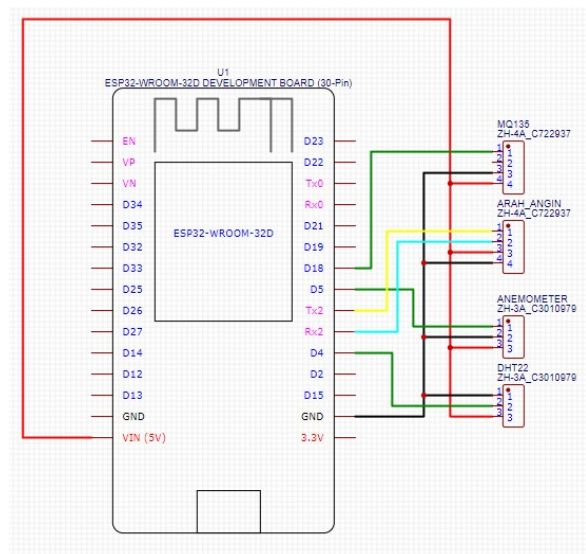
Perlu dicatat bahwa sensor MQ135 memiliki keterbatasan. Sensor ini tidak secara spesifik hanya mengukur konsentrasi CO₂, melainkan merespons berbagai jenis gas seperti amonia (NH₃), benzena, alkohol, dan asap. Oleh karena itu, pembacaan dari sensor ini mencerminkan kualitas udara secara umum dan bukan hanya konsentrasi CO₂ yang akurat. Untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran CO₂ yang presisi, diperlukan sensor khusus CO₂ dengan selektivitas yang lebih tinggi.

3) Perancangan Sistem

Mikrokontroler

Dalam perancangan sistem ini, mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data dari seluruh sensor yang terintegrasi. ESP32 dipilih karena memiliki performa

yang tinggi, dilengkapi dengan konektivitas *WiFi* dan *Bluetooth* yang memungkinkan komunikasi nirkabel, serta mendukung multitasking dengan dual-core prosesor. Setiap sensor yang digunakan, termasuk sensor MQ135, DHT22, sensor arah angin, dan sensor kecepatan angin, dihubungkan langsung ke pin input ESP32 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Mikrokontroler ini tidak hanya bertugas untuk membaca data dari sensor tetapi juga memproses dan mengirimkan data ke Blynk untuk visualisasi data dan ke *Google Spreadsheet* untuk penyimpanan dan analisis lebih lanjut.



Gambar 1. Rangkaian koneksi sensor ke ESP32

4) Perancangan Sistem Visualisasi

Data:

Data dari setiap sensor yang digunakan akan dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 ke Blynk dan divisualisasikan dengan tampilan yang menarik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan antar muka klien Blynk

5) Pemrograman Mikrokontroler

Bagian ini mencakup pengembangan perangkat lunak *firmware* yang diperlukan untuk mengendalikan mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ESP32 diprogram menggunakan *platform* pengembangan Arduino IDE dan menggunakan bahasa

pemrograman bahasa C++ yang disederhanakan yang dapat dilihat pada Gambar 3. Mikrokontroler ESP32 diprogram untuk membaca setiap sensor yang sudah ditentukan dan mengirim data ke Blynk dan ke *Google Spreadsheet*.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6pX-d5mQ8"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "nodemcudht11"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "kGdhs1MG37dHaFiIazgBzyuVFP27zCPI"

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <HttpClient.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22
#define RX2 16 // Arah angin
#define TX2 17 // Arah angin
#define SensorPin 14 // Pin untuk sensor kecepatan angin
#define RecordTime 2 // Waktu pencatatan dalam detik

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

//Mengirim data ke google sheet
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED)
{
  String Send_Data_URL = Web_App_URL + "?sts=write";
  Send_Data_URL += "&srs=" + String("Success");
  Send_Data_URL += "&temp=" + String(suhu);
  Send_Data_URL += "&humd=" + String(kelembapan);
  Send_Data_URL += "&co2=" + String(correctedPPH);
  Send_Data_URL += "&arahangin=" + String(s_angin);
  Send_Data_URL += "&kecepatanangin=" + String(WindSpeed);

  Serial.println("-----MENGIRIM DATA SENSOR-----");
  Serial.println("Send data to Google Spreadsheet...");
  Serial.print("URL : ");
  Serial.println(Send_Data_URL);

  HttpClient http;
  http.begin(Send_Data_URL.c_str());
  http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);
  int httpCode = http.GET();
  Serial.print("HTTP Status Code : ");
  Serial.println(httpCode);
}
```

Gambar 3. Program bagi ESP32

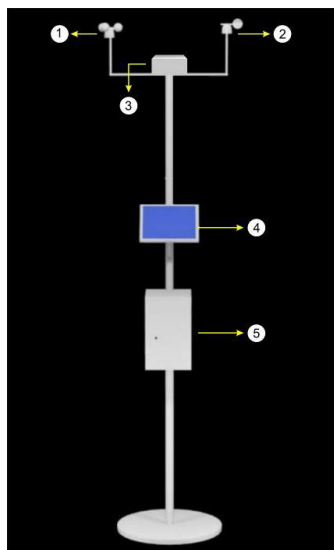
6) Perancangan Sistem Mekanik

Sistem dibuat dengan tiang dengan tinggi 2 meter di mana pada setiap satu meter akan ada penyambung yang sehingga panjang tiang

bisa ditambah jika diperlukan. Kemudian terdapat kotak di antara sensor arah angin (*wind direction*) dan anemometer yang berfungsi untuk menyimpan sensor DHT22 dan sensor MQ135. Pada bagian bawah terdapat box panel yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan mikrokontroller, *solar charge controller*, *inverter*, dan aki (baterai). Struktur ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan perancangan mekanik

Nomor	Keterangan
1	Sensor Anemometer
2	Sensor <i>Wind Direction</i>
3	Kotak untuk sensor MQ135 dan sensor DHT11
4	Panel Surya 10 Wp
5	Panel Box



Gambar 4. Rancangan Mekanik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah proses perancangan dan pengujian, perangkat sistem monitoring kualitas udara, kecepatan angin, dan arah angin berhasil dirancang dan dipasang di lokasi pengujian yaitu pada lapangan hijau Kampus Universitas Pelita Harapan Karawaci seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Kinerja alat tsb. diverifikasi terlebih dahulu dengan membandingkan hasil bacaan alat terhadap perangkat pengukur parameter fisis/kimia yang bersesuaian, yaitu pengukur suhu dan kelembapan HTC-1, alat ukur konsentrasi CO₂ komersial, anemometer Benetech GM186, dan kompas di bawah eksitasi dari luar. Hasil verifikasi menunjukkan rata-rata persentase kesalahan relatif pembacaan pada setiap parameter adalah sebagai berikut: suhu sebesar 1,75%, kelembapan sebesar 1,63%, konsentrasi CO₂ sebesar 1,99%, dan kecepatan angin sebesar 0,02%. Tingkat kesalahan ini masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, sehingga sistem cukup akurat dalam membaca data lingkungan.

Contoh hasil pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 16 Desember 2024 sampai 17 Desember 2024 diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 5. Kondisi alat di area kampus

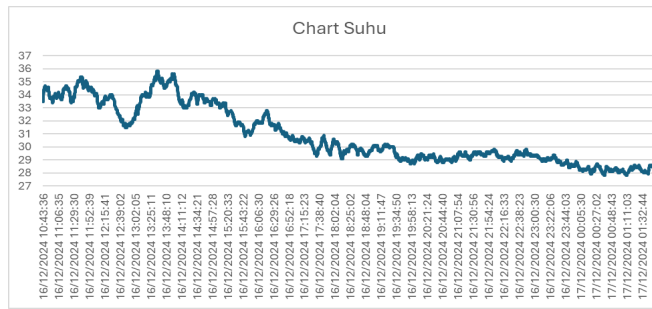
Tabel 2. Data yang terkirim ke Google Spreadsheet

Date	Jam	Suhu	Kelembap	Kode Arah Ar	Kecepatan Ar	CO2	Arah Angi
16/12/2024	10:43:36	33.5	75.5	4	0	669	Tenggara
16/12/2024	10:43:51	33.9	69.7	4	0	605	Tenggara
16/12/2024	10:44:06	34	71.5	4	0	636	Tenggara
16/12/2024	10:44:21	34	68.5	4	0	702	Tenggara
16/12/2024	10:44:36	34.2	70.7	4	0	691	Tenggara
16/12/2024	10:44:51	34.3	70.8	4	0	797	Tenggara
16/12/2024	10:45:06	34.4	70.6	4	0	669	Tenggara
16/12/2024	10:45:21	34.4	69.7	5	0	68	Selatan
16/12/2024	10:45:36	34.5	70.3	5	0	43	Selatan
16/12/2024	10:45:52	34.5	70.1	5	0	575	Selatan
16/12/2024	10:46:07	34.6	70.3	5	1.2	636	Selatan
16/12/2024	10:46:24	34.6	70.4	6	0	545	Barat daya
16/12/2024	10:46:40	34.6	67	6	0	615	Barat daya
16/12/2024	10:46:54	34.6	66.4	6	0	517	Barat daya
16/12/2024	10:47:09	34.7	68.8	6	0	526	Barat daya
16/12/2024	10:47:24	34.6	69.5	6	0	669	Barat daya
16/12/2024	10:47:39	34.6	67.6	6	0	595	Barat daya
16/12/2024	10:47:54	34.6	66.4	6	0	517	Barat daya
16/12/2024	10:48:09	34.6	67.8	6	0	508	Barat daya
16/12/2024	10:48:24	34.6	67.4	6	0	565	Barat daya
16/12/2024	10:48:39	34.6	67	6	0	555	Barat daya
16/12/2024	10:48:54	34.6	66.2	6	1.2	605	Barat daya
16/12/2024	10:49:11	34.6	65.2	3	0	508	Timur
16/12/2024	10:49:27	34.6	64.5	8	1.2	39	Barat laut
16/12/2024	10:49:43	34.5	64	8	0	464	Barat laut
16/12/2024	10:49:59	34.4	64.3	8	0	526	Barat laut
16/12/2024	10:50:14	34.4	65.7	7	0	874	Barat
16/12/2024	10:50:29	34.3	67.9	7	0	615	Barat
16/12/2024	10:50:45	34.4	70.2	7	0	605	Barat
16/12/2024	10:51:01	34.5	70.2	7	0	422	Barat
16/12/2024	10:51:17	34.5	69.6	7	0	636	Barat

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa alat yang dirancang-bangun sudah bisa membaca setiap sensor yang digunakan dan mengirim data yang sudah didapat ke *Google Spreadsheet* untuk selanjutnya data dapat dianalisis lebih lanjut. Kemudian pada Gambar 6 dapat dilihat tampilan visualisasi data pada aplikasi klien Blynk.

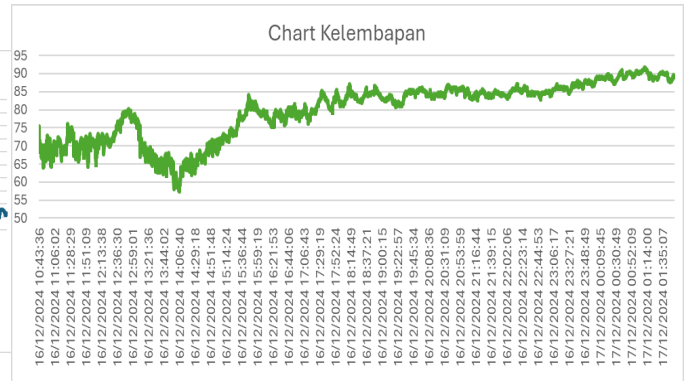


Gambar 6 Tampilan Blynk saat online



Gambar 7 Kurva suhu hasil tangkapan alat

Gambar 7 merupakan data suhu hasil tangkapan alat di mana terlihat bahwa suhu awal berada pada nilai sekitar $33,5^{\circ}\text{C}$, kemudian pada saat menjelang siang hari terlihat suhu meningkat secara perlahan-lahan, pada pukul 12:30 terjadi penurunan suhu yang disebabkan awan mendung dan saat siang hari pukul 12:50 suhu terlihat meningkat secara signifikan hingga mencapai puncaknya di kisaran $35,8^{\circ}\text{C}$ pada pukul 13:25. Setelah itu, suhu menunjukkan tren menurun secara bertahap saat menuju sore hari hingga malam di mana suhu turun dari 33°C ke 28°C di mana nilai stabil saat malam hari adalah sekitar 28°C .

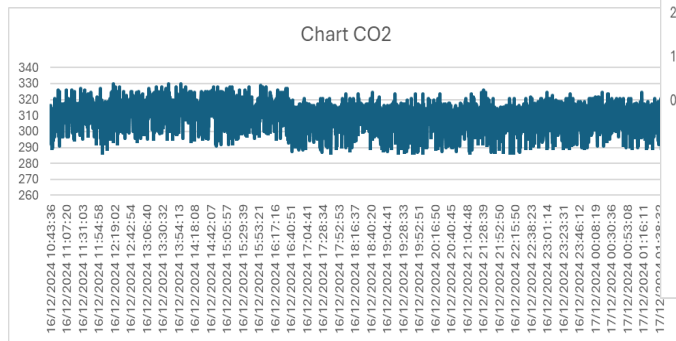


Gambar 8. Kurva kelembapan

Kurva kelembapan pada Gambar 8 menunjukkan fluktuasi kelembapan yang signifikan selama periode pengambilan data. Saat pagi hari pukul 10:43 - 12:00 kelembapan berada di kisaran 70% hingga 75%. Kelembapan relatif lebih tinggi karena suhu masih rendah, sehingga udara tidak dapat menampung banyak uap air. Pada siang hari pukul 12:00 - 14:00 kelembapan menurun drastis hingga mencapai nilai terendah sekitar 58%. Penurunan ini disebabkan oleh suhu udara yang meningkat hingga mencapai puncaknya di sekitar $35,8^{\circ}\text{C}$, yang membuat udara tidak mampu menahan lebih banyak uap air, sehingga kelembapan relatif menjadi rendah. Pada sore hari pukul 14:00 - 18:00 kelembapan mulai meningkat secara bertahap, dengan nilai berada di kisaran 65% hingga 75%. Penurunan suhu mulai terjadi, yang menyebabkan peningkatan kelembapan. Pada malam hari (18:00 - 00:00): Kelembapan meningkat lebih signifikan, mencapai nilai 85% hingga 90%. Penurunan suhu yang terus

terjadi membuat udara mudah dalam menahan uap air, sehingga kelembapan relatif meningkat. Pada dini hari pukul 00:00 - 01:51, kelembapan berada pada puncaknya sekitar 90%, dengan suhu yang sudah berada pada titik terendah sekitar 27°C.

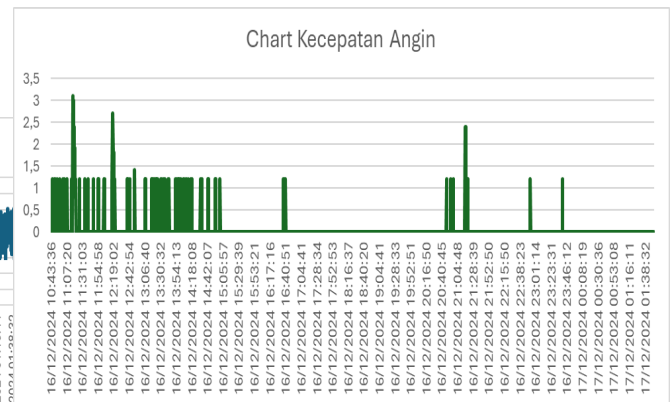
Pengaruh suhu terhadap kelembapan dari hasil pengamatan, terlihat hubungan invers antara suhu dan kelembapan. Ketika suhu mengalami penurunan, kelembapan cenderung meningkat. Hal ini sesuai dengan prinsip termodinamika, di mana udara dingin memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menahan uap air, sehingga meningkatkan tingkat kelembapan.



Gambar 9. Kurva konsentrasi CO₂

Kurva pada Gambar 9 merupakan hasil pembacaan sensor MQ135 untuk membaca konsentrasi CO₂. Grafik menunjukkan fluktuasi konsentrasi CO₂ dalam rentang waktu tertentu. Konsentrasi CO₂ yang diukur berkisar antara nilai 285 ppm hingga 330 ppm. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa saat pagi hari pukul 10:43

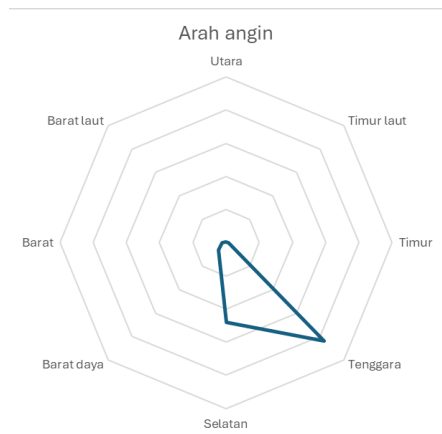
hingga sore hari pukul 16:43 kadar CO₂ terbaca sekitar 286 ppm sampai 329 ppm dengan rata-rata 315 ppm, kemudian sore hari pukul 16:43 hingga malam hari pukul 01:47 kadar CO₂ terbaca sekitar 286 ppm sampai 325 ppm dengan rata-rata 310 ppm. Pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa pada pagi hari hingga sore hari konsentrasi CO₂ lebih tinggi dibandingkan saat sore hari hingga malam hari, hal ini bisa terjadi karena konsentrasi CO₂ berhubungan keseimbangan aktifitas penyerapan CO₂ pada proses fotosintesis tanaman dan menurunnya aktifitas pelepasan CO₂ oleh kendaraan bermotor pada malam hari.



Gambar 10. Chart kecepatan angin

Grafik pada Gambar 10 merupakan hasil pembacaan sensor kecepatan. Pada gambar tersebut dapat dilihat saat pagi hari sampai sore hari sensor membaca kecepatan angin rata-rata ialah 1,2 m/h, kemudian dapat dilihat banyak waktu di mana sensor tidak mendapatkan data kecepatan angin, hal ini bisa disebabkan

oleh faktor posisi peletakan alat, di mana posisi peletakan alat saat melakukan pengambilan alat berdekatan dengan bangunan, di mana pada arah timur terdapat bangunan *greenhouse* dan di arah selatan terdapat gedung dan hutan kecil yang menghalangi angin sampai ke alat yang dibuat.



Gambar 11 Diagram arah angin

Kurva pada Gambar 11 merupakan hasil pembacaan alat yang dirancang-bangun untuk membaca arah angin, dapat dilihat pada grafik tsb. saat pengambilan data arah angin yang terbaca lebih sering ke arah tenggara dan arah selatan di mana angin berasal dari arah barat laut dan arah utara, hal ini bisa terjadi dikarenakan posisi alat pada arah utara sampai barat mendapatkan ruang kosong atau tidak ada sesuatu yang menghalangi angin ke alat

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian setiap sensor pada alat monitoring udara, kecepatan angin dan arah angin, dapat disimpulkan bahwa alat yang dirancang bekerja dengan baik, mikrokontroller ESP32 bisa membaca setiap sensor yang digunakan serta mikrokontroller ESP32 mampu mengirim data ke Blynk untuk visualisasi dan mengirim data setiap sensor ke *google spreadsheet* untuk *logging* data setiap sensor yang sudah dibaca oleh mikrokontroller.

Berdasarkan hasil pengujian data, data menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara suhu, kelembapan, dan konsentrasi CO₂. Ketika suhu meningkat pada siang hari, kelembapan relatif menurun. Sebaliknya, pada malam hari, aktifitas lalu lintas yang rendah menyebabkan konsentrasi CO₂ cenderung lebih rendah.

Berdasarkan hasil pengujian pada alat diketahui bahwa posisi peletakan alat berpengaruh pada pembacaan arah angin ataupun kecepatan angin, di mana saat posisi peletakan alat rancang bangun berdekatan dengan bangunan atau pohon maka ada kemungkinan angin akan terhalang oleh bangunan atau pohon.

DAFTAR PUSTAKA

- Dafa, Muh. D., Astutik, R. P., & Winarno, H. A. (2023). Smart io plc Berbasis IOT menggunakan ESP32. *JOURNAL ZETROEM*, 5(2), 165–168.

- <https://doi.org/10.36526/ztr.v5i2.3120>
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and implementation of ESP32-based IOT devices. *Sensors*, 23(15), 6739.
<https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Ismail, M. S., Mohammed, M. F., Sivaraman, K. N., Sivaraman, S. N., & Hussain, M. I. (2021). Smart IOT temperature and humidity alert system at aircraft composite storage area. *AIP Conference Proceedings*, 2339(1).
<https://doi.org/10.1063/5.0044198>
- Lynn, T., Endo, P. T., Ribeiro, A. M., Barbosa, G. B., & Rosati, P. (2020). The internet of things: Definitions, key concepts, and reference architectures. *Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies*, 1–22.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-41110-7_1
- Pebralia, J., Akhsan, H., & Amri, I. (2024). Implementasi internet of things (IOT) dalam monitoring Kualitas Udara Pada ruang terbuka. *Jurnal Kumparan Fisika*, 7(1), 1–8.
<https://doi.org/10.33369/jkf.7.1.1-8>
- Project, I. (2025, April 23). *Apa Itu Blynk? Platform IoT populer?*
<https://indobotproject.com/>
- Satish, U., Mendell, M. J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S., & Fisk, W. J. (2012). Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives*, 120(12), 1671–1677.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
- Umah, R., & Gusmira, E. (2024). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Masyarakat di Perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 3(3), 103–112.
<https://doi.org/10.58192/profit.v3i3.2246>
- Yanti, Y. (2024). Sistem Monitoring Keamanan Kantor Berbasis Android menggunakan modul wireless ESP-01. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 312–321.
<https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3734>

Pengembangan dan Perancangan Alat Potong Sayur dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD)

[Vegetable Cutting Tools Development and Design Using Quality Function Deployment (QFD) Method]

Fanny Limiyana¹, Sylvia^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Industri, Universitas Pelita Harapan, Tangerang, Indonesia

*Corresponding author: sylvia.apandi@gmail.com

ABSTRACT

Technology can help household chores. One household task involves manual cutting of vegetables. The concept of vegetable cutting tool's design and development is driven by the need to reduce injuries and increase productivity for users. The research's objective is to design and develop a vegetable cutting tool using the Quality Function Deployment (QFD) method. The limitations of the problems in QFD are the creation of the House of Quality, parts deployment, and product development and design is on phases 0, 1, 2, and 3. Phase 0 generates a mission statement for the vegetable cutting tool. Phase 1 creates assessments for HoQ. Phase 2 produces design representations. Phase 3 designs the prototype. The first step of HoQ is gathering feedback on customer needs based on features, performance, and ergonomic aspects. The Voice of Customer results in six variable WHATs and seven HOWs. The HoQ shows three main priorities for product design and development: short user steps, blade sharpness, and automation of the tool. Parts deployment identifies critical components in the design of the tool, including the main frame, tool automation, and blade. Subsequently, the vegetables cutting tool's prototype is designed. Prototype shows difference in ergonomic and shorter user step.

Keywords: *design and development; HOQ; QFD; RULA*

ABSTRAK

Teknologi dapat membantu manusia menyelesaikan pekerjaan rumah tangga. Salah satu pekerjaan rumah tangga yaitu pemotongan sayur yang manual. Gagasan pengembangan dan perancangan alat potong sayur dilandasi oleh kebutuhan pengurangan cedera serta meningkatkan produktivitas kerja bagi penggunaannya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk merancang dan mengembangkan produk alat potong sayur menggunakan metode Quality Function Deployment (QFD). Pembatasan masalah penelitian pada QFD dilakukan penyusunan House of Quality, parts deployment, serta pada pengembangan dan perancangan produk berfokus pada fase 0, 1, 2, dan 3. Fase 0 menghasilkan mission statement alat potong sayur. Fase 1 menghasilkan penilaian penyusunan HoQ. Fase 2 menghasilkan penggambaran desain. Fase 3 berfokus perancangan prototype. Penyusunan awal HoQ adalah mendapatkan suara kebutuhan pelanggan yang didasarkan aspek fitur, performansi dan ergonomi. Pengumpulan VoC menghasilkan enam variabel WHATs dan tujuh HOWs. Hasil HoQ mendapatkan tiga prioritas utama dalam pengembangan dan perancangan produk yaitu langkah penggunaan singkat, ketajaman pisau, dan otomatisasi alat potong sayur. Parts deployment mengidentifikasi komponen kritis dalam perancangan alat potong sayur yaitu kerangka utama, otomatisasi alat, dan pisau pemotong. Lalu, dilanjutkan perancangan prototype alat potong sayur. *Prototype* memberikan pengembangan yang terlihat pada aspek ergonomi dan langkah penggunaan alat singkat.

Kata kunci: *perancangan dan pengembangan; HOQ; QFD; RULA*

PENDAHULUAN

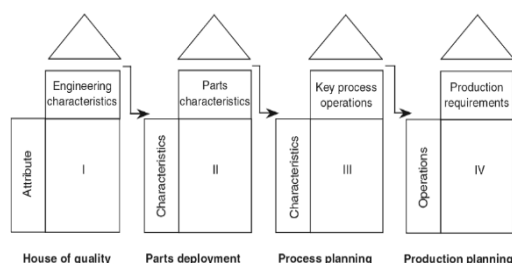
Pekerjaan rumah tangga umumnya masih didominasi oleh tenaga manusia. Penggunaan tenaga manusia yang berkepanjangan dapat menyebabkan permasalahan seperti produktivitas menurun, kelelahan, dan memiliki resiko yang dapat membahayakan tubuh. Kemajuan teknologi yang terus meningkat dapat mendorong perkembangan teknologi dengan melakukan pengembangan suatu produk yang dapat membantu pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih sederhana dan dapat menghasilkan hasil yang berkualitas.

Perancangan dan pengembangan produk ini harus memenuhi satu faktor utama yaitu memenuhi kebutuhan dari pelanggan. Pemenuhan kebutuhan pelanggan merupakan salah satu indikator yang menunjukkan kualitas dari produk yang dihasilkan. Dalam menunjukkan kualitas produk yang memenuhi kebutuhan pelanggan setidaknya terdapat beberapa aspek yang dipenuhi yaitu aspek ergonomis, aspek performansi, dan aspek fitur. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dalam melakukan perancangan dan pengembangan produk adalah desain produk tersebut dapat diproduksi, didistribusikan serta memenuhi kebutuhan dan keinginan konsumen dengan menggabungkan beberapa fungsi teknologi lainnya.

Dalam proses menyiapkan sayuran secara manual, terdapat postur yang tidak ergonomis seperti posisi kepala yang menunduk saat memotong dan juga penggunaan peralatan yang tidak aman dan ergonomis. Hal ini dapat menjadi salah satu faktor resiko timbulnya musculoskeletal disorders pada orang yang melakukan pekerjaan tersebut. Berdasarkan website *The Hand and Wrist Institute (Orthopedic Hand Surgeon in Dallas, TX | The Hand & Wrist Institute, n.d.)* dijelaskan kegiatan repetitif pada persendian seperti memotong sayur dapat menyebabkan peradangan pada tendon yang dinamakan tendinitis. Oleh karena itu, gagasan untuk melakukan penelitian mengenai perancangan dan pengembangan alat potong sayur yang efektif dan efisien muncul supaya dapat meningkatkan produktivitas kerja dalam proses pemotongan sayur pada rumah tangga. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk merancang dan mengembangkan produk alat potong sayur yang lebih efektif dan efisien digunakan dalam rumah tangga dalam upaya peningkatan proses pemotongan sayur pada rumah tangga.

Penelitian perancangan dan pengembangan alat potong sayur ini dilakukan menggunakan metode Quality Function Deployment (QFD) karena menjamin produk yang dihasilkan telah memuaskan kebutuhan pelanggan dengan

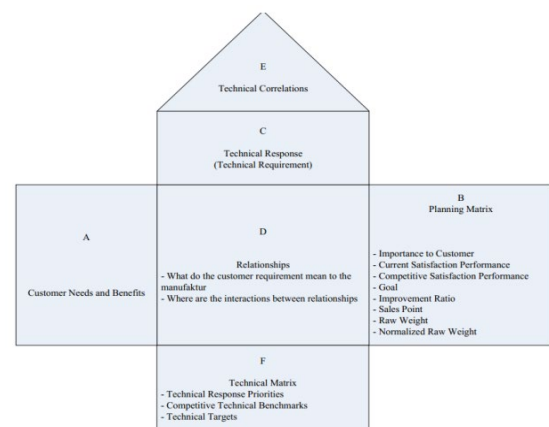
membentuk tingkat kualitas dan kesesuaian maksimal pada setiap tahap pengembangan produk. Dengan metode ini, dapat diketahui alat seperti apa yang diharapkan oleh pengguna dengan melakukan kuesioner sehingga dapat merancang dan mengembangkan alat yang sesuai dengan kebutuhan pengguna (Priyono & Yuamita, 2022). QFD didefinisikan sebagai metode yang memiliki tujuan untuk melakukan perancangan dan pengembangan produk yang menyesuaikan dengan kebutuhan dan keinginan dari pelanggan. Dalam mengimplementasikan QFD diperlukan input data dari pelanggan mengenai kebutuhan, keinginan, maupun pandangan pelanggan terhadap suatu produk. Quality Function Deployment secara lengkapnya memiliki empat fase yang dinamakan menjadi empat matriks (Gambar 1) yang terdiri dari matriks perencanaan produk, matriks pengembangan bagian, matriks perencanaan proses, dan matriks perencanaan produksi.



Gambar 1. Empat Matriks QFD
Sumber : Xie, Tan, dan Goh, 2003

Pembatasan masalah dalam penelitian ini yaitu penelitian dilakukan hanya pada orang

yang melakukan proses pemotongan sayur dan menggunakan alat potong sayur sederhana di rumah tangga. Penelitian pada proses pengembangan produk hanya dilakukan fase 0, fase 1, fase 2, dan fase 3, kemudian Penelitian pada proses Quality Function Deployment (QFD) akan dilakukan pada pembuatan *House of Quality* (Gambar 2) serta *parts deployment* karena keterbatasan waktu perbaikan fungsi dari prototype, hasil pengumpulan dan pengolahan data pada proses pembuatan pernyataan pelanggan awal dan ergonomi akan dilakukan oleh tiga orang yang berhubungan dengan target penelitian produk yang berfokus pada aspek fitur dan performansi serta penilaian RULA.



Gambar 2. House of Quality
Sumber : Cohen, 1995

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) adalah salah satu metode yang digunakan dan dikembangkan dalam meneliti serta menilai posisi pada bagian tubuh bagian atas yang untuk keperluan bidang ergonomi (McAtamney and Corlett, 1993). Penilaian

menggunakan RULA ini dilakukan dengan melakukan pengambilan nilai postur kerja pekerja yang melakukan satu siklus pekerjaan yang dianggap memiliki resiko yang cukup berbahaya bagi pekerja tersebut. Penilaian RULA ini dibagi menjadi dua tabel utama yaitu tabel A dan B, kemudian untuk peletakkan skor terdapat empat bagian yaitu skor A, B, C, dan D yang nilai batasan pada RULA ini antara skor 1-7. Penilaian keseluruhan RULA ini dijadikan satu yang dinamakan RULA Worksheet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

RULA Employee Assessment Worksheet

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position: +1, +2, +3, +4

Step 2: Locate Lower Arm Position: +1, +2, +3, +4

Step 3: Locate Wrist Position: +1, +2, +3, +4

Step 4: Wrist Twist: +1, +2, +3, +4

Step 5: Add Muscle Use Score: +1, +2, +3, +4

Step 6: Add Force and Score: +1, +2, +3, +4

Step 7: Find Row in Table C: +1, +2, +3, +4

Step 8: Find Column in Table C: +1, +2, +3, +4

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position: +1, +2, +3, +4

Step 10: Locate Trunk Position: +1, +2, +3, +4

Step 11: Locate Leg Position: +1, +2, +3, +4

Step 12: Add Muscle Use Score: +1, +2, +3, +4

Step 13: Add Force and Score: +1, +2, +3, +4

Step 14: Find Row in Table C: +1, +2, +3, +4

Step 15: Find Column in Table C: +1, +2, +3, +4

Table A: Wrist Posture Score

Wrist Posture	Score
1	1
2	2
3	3
4	4

Table B: Neck Posture Score

Neck Posture	Score
1	1
2	2
3	3
4	4

Table C: Trunk Posture Score

Trunk Posture	Score
1	1
2	2
3	3
4	4

Table D: Leg Posture Score

Leg Posture	Score
1	1
2	2
3	3
4	4

Table E: Final Score

Final Score	Score
1	1
2	2
3	3
4	4

Gambar 3. RULA Assessment
Sumber : cloudfront, RULA Worksheet (2004)

METODE PENELITIAN

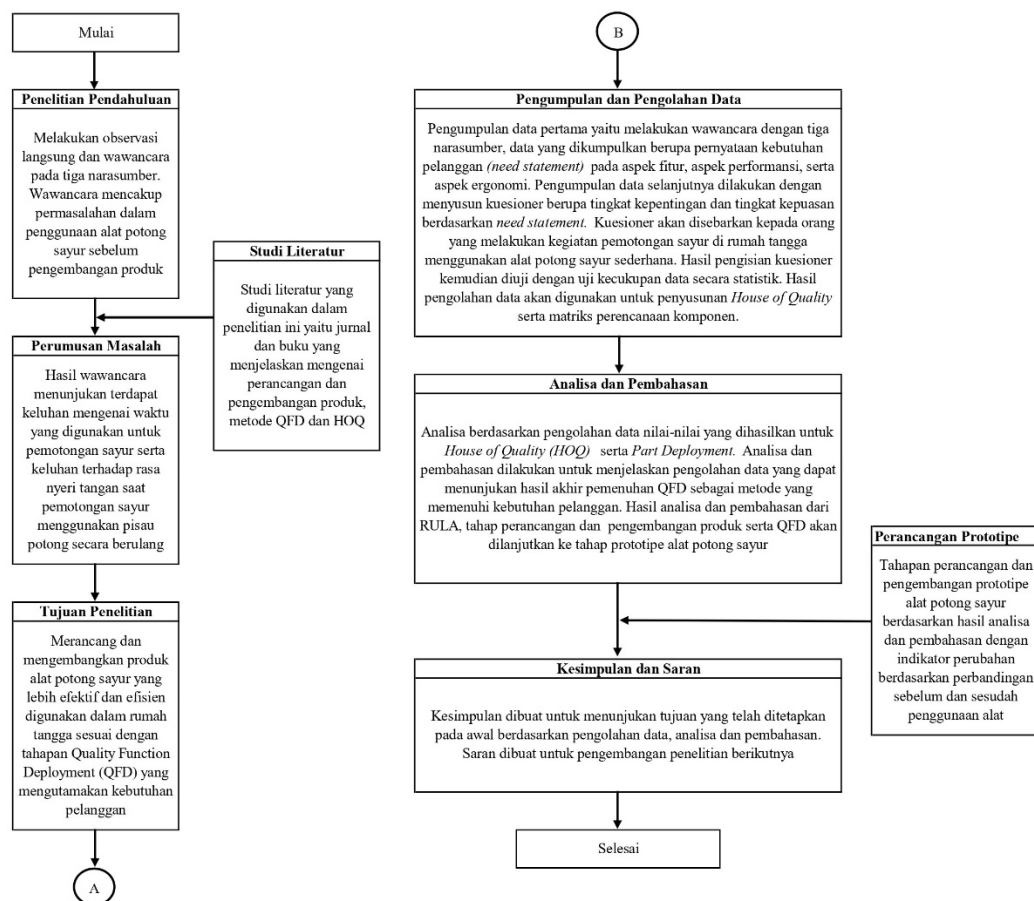
Penelitian dimulai dengan observasi langsung dan wawancara narasumber. Wawancara mencakup permasalahan dalam penggunaan alat potong sayur sebelum pengembangan produk. Langkah kedua adalah merumuskan masalah yang berdasarkan hasil wawancara, diketahui

bahwa terdapat keluhan mengenai waktu yang digunakan untuk pemotongan sayur serta keluhan mengenai rasa nyeri pada tangan saat melakukan pemotongan sayur secara berkepanjangan. Langkah ketiga adalah menentukan tujuan penelitian pada penelitian yang dilakukan yaitu untuk merancang dan mengembangkan produk alat potong sayur yang lebih efektif dan efisien digunakan dalam rumah tangga sesuai dengan tahapan *Quality Function Deployment* yang mengutamakan kebutuhan pelanggan. Langkah keempat yaitu studi literatur dalam penelitian berupa jurnal dan buku dalam menjelaskan mengenai perancangan dan pengembangan produk, metode *Quality Function Deployment* (QFD).

Langkah kelima yaitu dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data. Pengumpulan data pertama yaitu mengenai pernyataan kebutuhan pelanggan dengan wawancara tiga narasumber, hasil data dari wawancara kemudian dilakukan penyusunan kuesioner. Kuesioner tersebut akan disebarakan kepada 104 responden yang melakukan kegiatan pemotongan sayur di rumah tangga menggunakan alat potong sayur sederhana. Hasil pengisian kuisisioner dilakukan pengolahan data berupa uji kecukupan data serta penilaian terhadap langkah penyusunan House of Quality. Langkah keenam yaitu melakukan

analisis dan pembahasan yang didasarkan dari pengolahan data nilai-nilai yang dihasilkan untuk HoQ serta Parts Deployment dengan menjelaskan pengolahan data yang dapat menunjukkan hasil akhir pemenuhan QFD sebagai metode yang memenuhi kebutuhan pelanggan. Hasil analisis dan pembahasan dari RULA, tahap pengembangan dan

perancangan produk serta QFD akan dilanjutkan ke tahap perancangan prototype alat potong sayur yang selanjutnya dibandingkan antara sebelum penggunaan alat potong sayur (manual) dengan setelah penggunaan alat potong sayur. Langkah terakhir yaitu membuat kesimpulan dan saran. Adapun bagan metode penelitian dapat dilihat di gambar 4.



Gambar 4. Bagan Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN RULA

Penggunaan RULA untuk menilai posisi tubuh bagian atas saat melakukan pemotongan sayur menggunakan alat potong sayur sederhana seperti pisau sayur

yang berguna untuk mengetahui tingkat resiko yang dapat terjadi pada tubuh dalam posisi yang kurang baik dalam melakukan kegiatan pemotongan sayur. Hasil penelitian RULA ketiga narasumber

termasuk dalam kategori nilai 3, dimana posisi tubuh membutuhkan penelitian lebih lanjut dan memungkinkan untuk melakukan perubahan posisi tubuh yang lebih ergonomis sehingga tidak mengalami dampak negatif dari posisi tubuh yang kurang baik secara berulang dan berkepanjangan.

Fase 0.

Penyusunan pernyataan mission statement berguna untuk menentukan tujuan dan sasaran produk secara jelas. Mission statement alat potong sayur dapat dilihat pada tabel 1.

Fase 1.

a) *WHATs*

Pernyataan pelanggan berdasarkan hasil wawancara dirumuskan menjadi pernyataan kebutuhan pelanggan (*Voice of Customer*) / *WHATs* yang terlihat pada Tabel 2.

b) Hubungan *WHATs* dan *HOWs*

Pernyataan *WHATs* akan diinterpretasikan menjadi suatu deskripsi teknis yang disebut sebagai karakteristik teknis (*HOWs*) yang dapat dilihat pada tabel 3. Nilai tingkat hubungannya dibagi menjadi 3 kategori yaitu: hubungan kuat (nilai sembilan), hubungan sedang (nilai tiga) dan hubungan lemah (nilai satu). Kemudian dilakukan penilaian matriks hubungan antara *WHATs* dengan *HOWs* yang ditunjukkan pada tabel

4.

Tabel 1. *Mission Statement*

<i>Mission Statement</i>	
<i>Product Description</i>	Produk yang akan dirancang dan dikembangkan adalah alat potong sayur yang berguna untuk membantu kegiatan pemotongan sayur lebih efektif dan efisien.
<i>Benefit Proposition</i>	Produk menggunakan teknologi otomatisasi sehingga dapat lebih mudah dan aman.
<i>Key Business Goal</i>	Membuat produk alat potong sayur otomatis yang terjangkau.
<i>Primary Market</i>	Konsumen rumah tangga yang melakukan kegiatan pemotongan sayur di rumah tangga yang menggunakan alat potong sayur sederhana dan merasakan permasalahan dalam penggunaan alat potong sayur sederhana tersebut.
<i>Assumption</i>	1. Adanya permasalahan dalam penggunaan alat potong sayur sederhana. 2. Menggantikan penggunaan alat potong sayur sederhana seperti pisau sayur.
<i>Stakeholder</i>	Konsumen, vendor, distributor

Tabel 2. Pernyataan Pelanggan dengan *WHATs*

No.	Pernyataan Pelanggan	VoC / <i>WHATs</i>
1	Kinerja yang memenuhi fungsional	Memenuhi fungsionalitas sebagai alat potong sayur
2	Desain visual yang menarik	Memiliki desain yang menarik untuk dipandang
3	Pelengkap produk alat berupa otomatisasi	Penggunaan alat potong sayur tidak manual
4	Kecepatan memotong yang cepat	Memotong sayur menjadi lebih cepat

5	Kemudahan penggunaan alat potong	Penggunaan alat potong sayur mudah dimengerti, aman serta nyaman
6	Konsistensi hasil potongan	Hasil potongan sayur konsisten tidak berbeda bentuk

Tabel 3. *WHATs* dengan *HOWs*

No.	<i>WHATs</i>	<i>HOWs</i>
1	Memenuhi fungsionalitas sebagai alat potong sayur	Ketajaman Pisau
		Jenis Pisau Pemotong
2	Memiliki desain yang menarik untuk dipandang	Desain Alat Potong Sayur
		Warna Alat Potong Sayur
3	Penggunaan alat potong sayur tidak manual	Otomatisasi Alat Potong Sayur
4	Memotong sayur menjadi lebih cepat	Ketajaman Pisau
		Kecepatan Gerakan Potong
5	Penggunaan alat potong sayur mudah dimengerti	Langkah penggunaan alat singkat
6	Hasil potongan sayur konsisten tidak berbeda bentuk	Ketajaman Pisau
		Jenis Pisau Pemotong
		Kecepatan Gerakan Potong

Tabel 4. Hubungan *WHATs* dengan *HOWs*

No.	<i>WHATs</i>	<i>HOWs</i>	Hubungan	Nilai
1	Memenuhi fungsionalitas sebagai alat potong sayur	Ketajaman Pisau	Kuat	9
		Jenis Pisau Pemotong	Sedang	3
2	Memiliki desain yang menarik untuk dipandang	Desain Alat Potong Sayur	Kuat	9
		Warna Alat Potong Sayur	Sedang	3
3	Penggunaan alat potong sayur tidak manual	Otomatisasi Alat Potong Sayur	Kuat	9
4	Memotong sayur menjadi lebih cepat	Ketajaman Pisau	Kuat	9
		Kecepatan Gerakan Potong	Kuat	9
5	Penggunaan alat potong sayur mudah dimengerti	Langkah penggunaan alat singkat	Kuat	9
6	Hasil potongan sayur konsisten tidak berbeda bentuk	Ketajaman Pisau	Kuat	9
		Jenis Pisau Pemotong	Lemah	1
		Kecepatan Gerakan Potong	Sedang	3

c) Hubungan timbal balik *HOWs*

Setelah melakukan penilaian matriks hubungan antara *WHATs* dengan *HOWs*, pada bagian ini akan dilakukan penandaan

matriks hubungan timbal balik antara *HOWs*. Hubungan timbal balik ini dibagi menjadi lima kelompok kategori yang terdiri dari:

- Hubungan positif kuat = Simbol Lingkaran Hitam (●)
- Hubungan positif = Simbol Lingkaran Putih (○)
- Hubungan negatif = Simbol X
- Hubungan negatif kuat = Simbol Bintang (*)
- Tidak ada hubungan = Simbol Kosong

d) Prioritas Kebutuhan Pelanggan

1) Uji Kecukupan Data

Hasil N' didapatkan senilai 67.65, maka oleh karena itu diperlukan sampel data > 67.65 . Kuesioner yang telah disebarkan memiliki total 104 kuesioner sehingga nilai N adalah 104, sehingga $N > N'$ dengan nilai $104 > 67.65$ dan dapat disimpulkan bahwa jumlah sampel telah memenuhi syarat.

2) Tingkat Kepentingan dan Tingkat Kepuasan

Hasil pengisian kuesioner kemudian akan direkap pada masing-masing nilai serta rata-ratanya dari tingkat kepentingan.

- Tujuan dan Rasio Peningkatan

Penentuan tujuan peningkatan ini dilakukan untuk menetapkan target peningkatan

tingkat kepuasan pelanggan yang diinginkan. Perhitungan rasio peningkatan dilakukan untuk mendapati nilai peningkatan yang perlu dilakukan dalam mencapai nilai tujuan yang sudah ditetapkan.

- Titik Penjualan

Penentuan titik penjualan dilakukan untuk menentukan nilai jual dari pernyataan pelanggan.

- Bobot Mentah

Perhitungan nilai bobot mentah dilakukan untuk menjadi panduan urutan prioritas dari pernyataan pelanggan.

- Urutan Prioritas Hubungan *WHATs* dalam *HOWs*

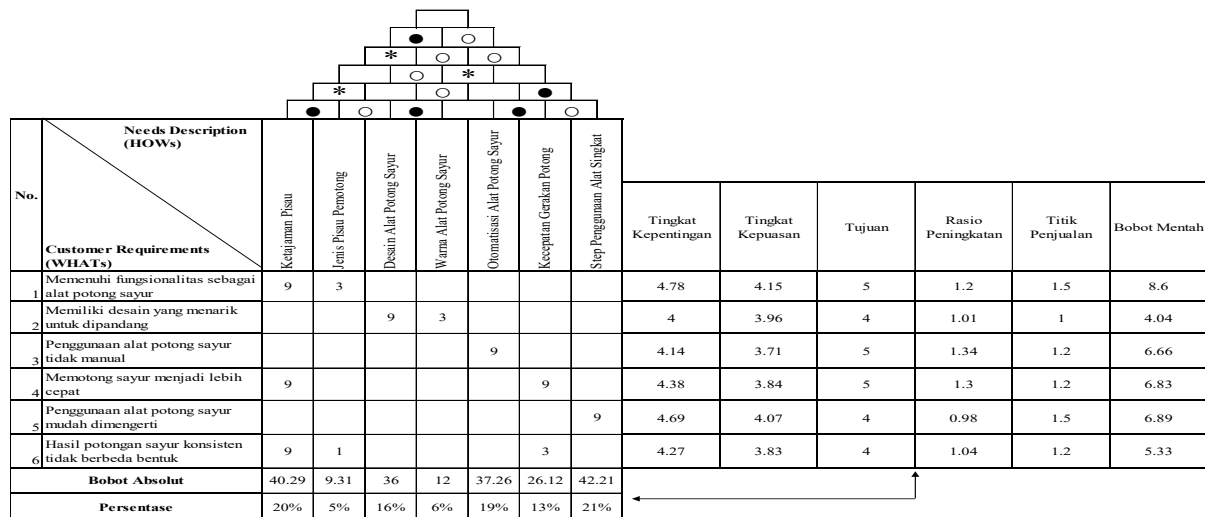
Perhitungan bobot absolut dilakukan untuk mengetahui urutan prioritas hubungan *WHATs* dalam *HOWs*. Hasil rekapitulasi dapat dilihat di tabel 5.

Hasil keseluruhan perhitungan tersebut akan disusun membentuk House of Quality yang ditunjukkan oleh gambar 5.

Tabel 5. Hasil keseluruhan perhitungan nilai bobot absolut dan persentase pada Karakteristik Teknis (*HOWs*)

No.	<i>HOWs</i>	Bobot Absolut	Persentase
1	Ketajaman Pisau	40,29	20%
2	Jenis Pisau Pemotong	9,31	5%
3	Desain Alat Potong Sayur	36	16%
4	Warna Alat Potong Sayur	12	6%
5	Otomatisasi Alat Potong Sayur	37,26	19%

6	Kecepatan Gerakan Potong	26,12	13%
7	Langkah penggunaan alat singkat	42,21	21%
Total		203,19	100%



Gambar 5 House of Quality

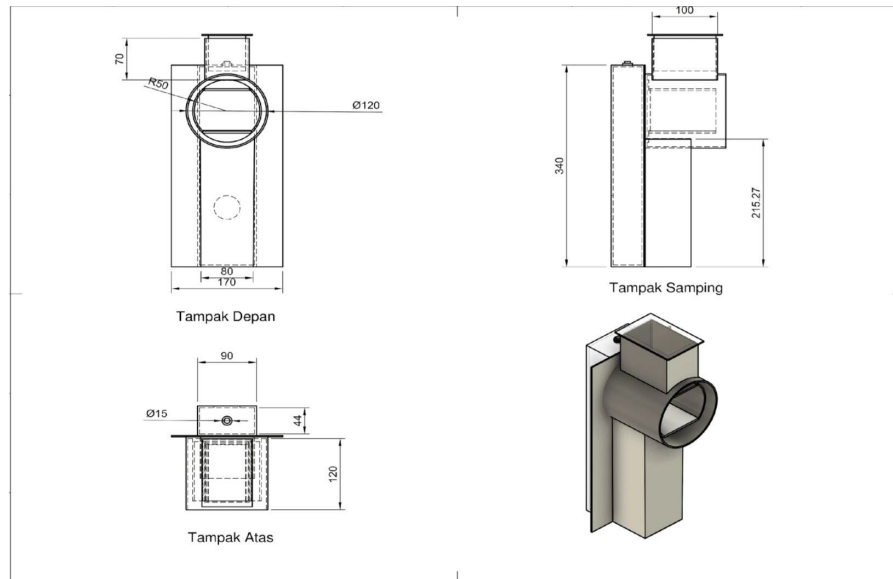
KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian, kesimpulan yang dapat ditarik adalah

1. Permasalahan pada penelitian adalah adanya penggunaan tenaga manual pada rumah tangga yang dapat mengurangi produktivitas dalam kegiatan rumah tangga dan adanya kemungkinan cedera yang terjadi jika kegiatan dilakukan secara berkepanjangan.
2. Hasil perhitungan keseluruhan tahap pembuatan HoQ didapatkan hasil urutan prioritas tiga terpenting yaitu langkah penggunaan alat singkat,

ketajaman pisau, otomatisasi alat potong sayur. Hasil perhitungan antara part kritis dengan HOWs juga didapatkan urutan prioritas yang terdiri dari kerangka utama, otomatisasi alat, pisau pemotong.

3. Prototype Alpha (gambar 6) dapat terlihat hasil perbedaan dari aspek ergonomi yang dimana berdasarkan penilaian RULA saat menggunakan hasil prototype yaitu terjadi perubahan pada *neck, trunk, and leg analysis* yang dimana sebelumnya memiliki skor 3 berubah menjadi skor 1 (gambar 7 dan 8)



Gambar 6 Gambar Teknik Alat Potong Sayur



Gambar 7 Posisi Ergonomis Menggunakan Alat Potong Sayur

RULA Employee Assessment Worksheet based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position:

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Step 4: Wrist Twist:

Step 4a: Adjust...
If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:

Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 7: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C

Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Table A: Wrist Posture Score

Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist	Wrist	Wrist	Wrist
		1	2	3	4	5
1	1	1	2	2	3	3
2	2	2	2	2	3	3
3	3	2	3	3	3	4
4	4	2	3	3	3	4
5	5	3	3	3	3	4
6	6	3	3	3	3	4
7	7	3	3	3	3	4
8	8	3	3	3	3	4
9	9	3	3	3	3	4
10	10	3	3	3	3	4
11	11	3	3	3	3	4
12	12	3	3	3	3	4

Table B: Neck, Trunk and Leg Score

Neck	Trunk	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
		1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
2	2	2	3	4	5	6
3	3	3	4	5	6	7
4	4	4	5	6	7	8
5	5	5	6	7	8	9
6	6	6	7	8	9	10
7	7	7	8	9	10	11
8	8	8	9	10	11	12
9	9	9	10	11	12	13
10	10	10	11	12	13	14
11	11	11	12	13	14	15
12	12	12	13	14	15	16

Table C: Neck, trunk and leg score

Neck	Trunk	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
		1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
2	2	2	3	4	5	6
3	3	3	4	5	6	7
4	4	4	5	6	7	8
5	5	5	6	7	8	9
6	6	6	7	8	9	10
7	7	7	8	9	10	11
8	8	8	9	10	11	12
9	9	9	10	11	12	13
10	10	10	11	12	13	14
11	11	11	12	13	14	15
12	12	12	13	14	15	16

Scoring: (final score from Table C)

1 or 2 = acceptable posture
3 or 4 = further investigation, change may be needed
5 or 6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:

Step 9a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:

If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:

Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B.

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 14: Add Force/Load Score

If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C

Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

Gambar 8 Penilaian RULA Penggunaan Alat Potong Sayur

4. Prototype Alpha alat potong sayur juga berdampak pada salah satu kebutuhan pelanggan yaitu langkah penggunaan alat singkat juga mengalami perubahan yang dimana langkah penggunaan alat setelah pengembangan dan perancangan lebih singkat dibandingkan sebelum penggunaan alat. Adapun perbedaan Langkah penggunaan alat dapat terlihat di tabel 6.

Tabel 6. Perbedaan Langkah Sebelum dan Sesudah Penggunaan Alat Potong Sayur

No	Sebelum Penggunaan Alat Potong Sayur	Sesudah Penggunaan Alat Potong Sayur
1	Mempersiapkan Talenan	Mempersiapkan Alat Potong Sayur
2	Mempersiapkan Pisau	Mempersiapkan Wadah untuk hasil pemotongan
3	Mempersiapkan Asahan Pisau	Memasukkan Sayur ke tempat lokasi pemotongan
4	Mengasah Pisau menggunakan asahan untuk mempertajam mata pisau	Pemotongan sayur dilakukan
5	Mempersiapkan wadah untuk hasil pemotongan	
6	Pemotongan sayur dilakukan	

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, saran yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan kriteria lain yang dapat menjadi penunjang lainnya dalam alat potong sayur sehingga variasi penggunaan alat potong sayur dapat lebih berkembang.
2. Menambahkan alternatif bahan seperti dinamo yang dapat dikencangkan dengan mur sehingga putaran pada bagian pemotong dapat digunakan sesuai fungsinya. Selain itu, alternatif bahan untuk kerangka utama juga dapat dilakukan observasi lebih lanjut mengenai bahan yang dapat lebih baik lagi guna memastikan kualitas prototype dapat lebih baik lagi dan berkembang menyesuaikan dengan fungsi seharusnya.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut serta observasi lebih lanjut tentang penggunaan alat potong serutan yang menggunakan tenaga manusia manual sehingga dapat mengembangkan produk otomatis menjadi lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- Awwaluddin, M., Hardjanto, T., & Jalil, A. (2016). Analisis Kekuatan Struktur dan Nilai Ergonomi Sistem Mekanik Perangkat Diagnosis Fungsi Ginjal dan Thyroid Terpadu. *JURNAL PERANGKAT NUKLIR*, 10(2), 62–72.
- Chuan, T. K., Hartono, M., & Kumar, N. (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(6), 757–766.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.05.001>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (reba). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205.
[https://doi.org/10.1016/s0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/s0003-6870(99)00039-3)
- Motaqi, M., & Ghanjal, A. (2019). Musculoskeletal disorders (definition, causes, risk factors, and prevention): Part I. *International Journal of Musculoskeletal Pain Prevention*, 4(1), 127–131.
<https://doi.org/10.52547/ijmpp.4.1.127>
- Priyono, P., & Yuamita, F. (2022a). Pengembangan Dan Perancangan Alat pemotong Daun tembakau Menggunakan metode quality function deployment (QFD). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 1(3), 137–144.
<https://doi.org/10.55826/tmit.v1i1.45>
- Priyono, P., & Yuamita, F. (2022b). Pengembangan Dan Perancangan Alat pemotong Daun tembakau Menggunakan metode quality function deployment (QFD). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 1(3), 137–144.
<https://doi.org/10.55826/tmit.v1i1.45>
- Riyan, M., Sukpto, P., & Yogasara, T. (2023). Perbaikan Sistem kerja Untuk Meningkatkan Keselamatan Dan Kesehatan kerja (K3) Serta produktivitas Melalui Pendekatan ergonomic partisipatif (Studi Kasus di Pt. Eka Karya sinergi bandung). *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 12(2), 237–250.
<https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i2.67>

[84.237-250](#)

Setiawan, D., Hunusalela, Z. F., & Nurhidayati, R. (2021). Usulan perbaikan Sistem Kerja di area Gudang Menggunakan metode Rula Dan Owas di Proyek Pembangunan Jalan tol cisumdawu phase 2 PT Wijaya Karya (Persero) tbk. *JATI UNIK: Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 4(2), 78–90. <https://doi.org/10.30737/jatiunik.v4i2.999>

Tiogana, V., & Hartono, N. (2020). Analisis postur Kerja Dengan Menggunakan Reba Dan Rula di PT X. *Journal of Integrated System*, 3(1), 9–25. <https://doi.org/10.28932/jis.v3i1.2463>

Orthopedic Hand Surgeon in Dallas, TX | The Hand & Wrist Institute. (n.d.). Retrieved April 14, 2025, from <https://handandwristinstitute.com/>

Iridiastadi, H., MSIE, P. D., & Yassierli, P. D. (2014). Ergonomi suatu pengantar. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.

MacLeod, D. (2006). The ergonomics kit for General Industry. Taylor & Francis. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420006308>.

McAtamney, L., & Corlett, N. (2004). Rapid Upper Limb Assessment (RULA). In Handbook of human factors and ergonomics methods (pp. 86-96). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203489925>.

Sari, D. D. (2018). Analisa Postur Kerja Dengan Metode Rapid Entire Body Assessment (REBA) Pada Perkantoran SKK Migas. Universitas Mercu Buana. Jakarta. Fakultas Teknik.

Satudata Kemnaker. (2024). Kecelakaan Kerja Tahun 2023. Satudata Kemnaker. Retrieved from

<https://satudata.kemnaker.go.id/data/kumpulan-data/1728>

Singh, L. P. (2010). Work Posture Assessment in Forcing Industry: An Exploration Study in India. *International Journal of Advanced Engineering Technology* 1(3), pp 358-366.

Wignjosuebrotto, S. (2003). Ergonomi studi gerak dan waktu. Surabaya: Guna Widya, 283.

Wilujeng, Agnes Ratri. (2018). Analisis Postur Kerja untuk Perbaikan Stasiun Kerja Pengemasan Sari Alang-Alang Menggunakan Metode REBA (Rapid Entire Body Assessment) dan OWAS (Ovaku Working Posture Analysis System) (Studi Kasus di UKM R Rovit, Kota Batu). Universitas Brawijaya. Malang. Fakultas Teknologi Pertanian.

Evaluation of Plantaricin Gene Expression in *Lactiplantibacillus plantarum* Strain SU-KC1a

[Evaluasi Ekspresi Gen Plantarisin pada *Lactiplantibacillus plantarum* Strain SU-KC1a]

Marcelia Sugata^{1*}, Jessica Sunardi¹, Hans Victor¹, Tjie Jan Tan¹

¹Program Studi Biologi, Universitas Pelita Harapan, Jl. M.H. Thamrin Boulevard, Tangerang 15811, Indonesia

*Author correspondence: marcelia.sugata@uph.edu

ABSTRACT

Lactobacillus species are normal gastrointestinal flora and are commonly used in the food industry for fermented milk products. Due to their probiotic properties, *Lactobacillus* strains are considered safe and effective for human consumption, with antimicrobial activity often attributed to bacteriocins. *Lactobacillus plantarum* (known as *Lactiplantibacillus plantarum*) produces plantaricin, a ribosomally synthesized bacteriocin with activity against a range of pathogens and potential as a bio-preservative. In this study, *L. plantarum* SU-KC1a, isolated from human breast milk, was assessed for its antimicrobial activity through the production of plantaricin. Since plantaricin is typically produced at low concentrations, reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) was employed. PCR amplification of the *plnJ* and *plnK* genes resulted in amplicons of approximately 168 bp and 173 bp, respectively. These findings suggest that *L. plantarum* SU-KC1a produces plantaricin JK. However, further sequence analysis is required to confirm the homology of the amplified genes with known plantaricin J and K genes in GenBank.

Keywords: antimicrobial; bacteriocin; lactic acid bacteria; probiotic; RT-PCR

ABSTRAK

Spesies *Lactobacillus* adalah flora gastrointestinal normal dan sering digunakan dalam industri makanan untuk produk susu fermentasi. Karena sifat probiotiknya, strain *Lactobacillus* dianggap aman dan efektif untuk konsumsi manusia, dengan aktivitas antimikroba yang sering dikaitkan dengan bakteriosin. *Lactobacillus plantarum* (dikenal sebagai *Lactiplantibacillus plantarum*) menghasilkan plantarisin, sebuah bakteriosin yang disintesis ribosom dengan aktivitas melawan berbagai patogen dan berpotensi sebagai bio-preservatif. Dalam penelitian ini, *L. plantarum* SU-KC1a yang diisolasi dari ASI manusia dievaluasi aktivitas antimikrobanya melalui produksi plantarisin. Karena plantarisin biasanya diproduksi dalam konsentrasi rendah, dilakukan *reverse transcription polymerase chain reaction* (RT-PCR). Amplifikasi PCR dari gen *plnJ* dan *plnK* menghasilkan produk amplifikasi sekitar masing-masing 168 bp dan 173 bp. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa *L. plantarum* SU-KC1a menghasilkan plantarisin JK. Namun, analisis urutan lebih lanjut diperlukan untuk mengonfirmasi kesamaan gen yang diamplifikasi dengan gen plantarisin J dan K yang diketahui di GenBank.

Kata kunci: antimikroba; bakteriosin; bakteri asam laktat; probiotik, RT-PCR

INTRODUCTION

Lactobacillus species are normal flora of the human gastrointestinal tract. They have been widely used in the food industry as starters for various fermented products. The growing interest in using *Lactobacillus* as a probiotic has led to the development of many probiotic products on the market, which are considered safe and effective for human consumption (Maldonado *et al.*, 2004). The World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) define probiotics as live organisms which, when administered in adequate amounts, confer a health benefit on the host (Hill *et al.*, 2014). One of the most important properties of a probiotic is its antimicrobial activity (Fijan, 2014).

Lactobacillus plantarum, now preferably known as *Lactiplantibacillus plantarum*, is a lactic acid bacterium (LAB) that is considered a probiotic. Various strains of *L. plantarum* are known for their ability to inhibit the growth of pathogens through several mechanisms, one of which is the production of bacteriocins. The bacteriocin produced by *L. plantarum* is known as plantaricin. Plantaricin consists of ribosomally synthesized peptides that effectively target a range of harmful bacteria through various bactericidal and bacteriostatic

mechanisms. Moreover, the use of plantaricin as a bio-preservative has been widely studied due to its safety and its ability to extend the shelf life of food without altering its nutritional properties or antimicrobial activity (Todorov, 2009).

Various types of plantaricin have been identified, including plantaricin A, C, D, E, F, J, K, S, T, Y, 423, 163, 149, 35D, BN, SA6, LC74, KW30, ZJ008, LD1, UG1, NC8, C11, and NA (Meng *et al.*, 2015). Additionally, several *pln* loci have been sequenced from different *L. plantarum* strains (NC8, WCFS1, J23). These loci contain approximately 22–26 genes spanning a 19 kb DNA region, which are organized into 4–6 operons. Two of these operons include transport and regulatory functions, while the remaining operons encode bacteriocins and other cognate immune proteins (Diep *et al.*, 2009).

An indigenous *L. plantarum* strain isolated from human breast milk, *L. plantarum* SU-KC1a, was first reported by Sugata *et al.* (2024). This strain can inhibit pathogenic bacteria such as *E. coli* and *S. aureus*, suggesting their potential as probiotic. The antibacterial effect is likely attributed to plantaricin activity. However, plantaricin is usually produced in low concentrations, which makes the purification process challenging and

complicates the confirmation that the observed antibacterial activity is due to the presence of plantaricin. Previous research reported that plantaricin LR14 production reached only 59.21 µg/L, while the highest recorded plantaricin production was in *L. plantarum* A-1, at 3.5 mg/L (Tiwari & Srivastava, 2008; Hata *et al.*, 2010). These factors present a significant obstacle for further research and the application of plantaricin. In this study, the expression of the plantaricin genes in *L. plantarum* SU-KC1a under normal conditions was evaluated using RT-PCR to determine whether the gene is naturally expressed without the need for external signals or specific conditions.

MATERIALS AND METHOD

Lactobacillus plantarum strain SU-KC1a was isolated from human breast milk, as previously reported by Sugata *et al.* (2024). The culture stock was revived by growing the strain in de Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) medium for 48 h at 37°C under microaerophilic conditions.

The culture was then transferred into sterile MRS broth and incubated at 37°C until it reached the mid-exponential phase ($\pm$ 4 h). Cells were harvested by centrifuging the culture at 5,000 g for 10 min and washed twice with TE buffer (10 mM Tris-HCl, 1 mM EDTA [pH 8.0]). Genomic RNA was extracted using the PathoGene-spin™ DNA/RNA Extraction Kit (iNtRON Biotechnology). Subsequently, RNA concentration was quantified using a spectrophotometer (Nanodrop).

Plantaricin genes were amplified by reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) using specific primers (Table 1). The RT-PCR was performed using the QIAGEN OneStep RT-PCR Kit. The PCR mixture composition was as follows: 10 µL QIAGEN OneStep RT-PCR Buffer (5x), 2 µL dNTPs (10 mM), 2 µL Enzyme Mix, 18 µL RNA template, 3 µL of each primer, and 12 µL RNase-free water. The final primer concentration was 10 µM. The PCR conditions are outlined in Table 2.

Table 1. Primer sequence used for plantaricin gene amplification

Genes		Sequence (5' – 3')	Annealing temp (°C)	Reference
PlnJ	F	TAA CGA CGG ATT GCT CTG	51	Chaalet <i>et al.</i> , (2015)
	R	AAT CAA GGA ATT ATC ACA TTA GTC		
PlnK	F	CTG TAA GCA TTG CTA ACC AAT C	53	
	R	ACT GCT GAC GCT GAA AAG		

Table 2. PCR conditions for plantaricin gene amplification

Stage	Cycle (times)	Temp (°C)	Duration (min)
-------	---------------	-----------	----------------

Reverse transcription	1	50	30
Initial PCR activation step	1	95	15
Denaturation		94	0.50
Annealing	35	49	0.50
Extension		72	1
Final Extension	1	72	10

The migration, visualization, and quantification of the migrating products were performed by electrophoresis in 2% (w/v) agarose gels. The results were visualized by ethidium bromide staining. HyperLadder™ 50 bp (Meridian Life Science Inc., USA) was used as the molecular size standard.

RESULTS AND DISCUSSION

Bacteriocins and antibiotics share similarities as bactericidal compounds; however, bacteriocins are synthesized by ribosomes, while antibiotics are typically secondary metabolites. Bacteriocins can be encoded either on the chromosome or on plasmids. Most bactericidal bacteriocins act primarily against closely related bacterial species or competing microbial species. Additionally, the genes involved in bacteriocin production and immunity are often organized into operon clusters—such as *plnABCD*, *plnEFI*, *plnJKLR*, *plnGHSTUVW*, and *plnMNOP*. As a result, the biosynthesis of plantaricin is considered a key factor in the development of probiotics (Basa *et al.*, 2020).

Plantaricin, a type of bacteriocin, is generally recognized as safe for human consumption due to its degradation by gastric and pancreatic enzymes during digestion (Simons *et al.*, 2020). While it exhibits strong antibacterial activity and low toxicity, its limited production remains a significant barrier to industrial-scale applications. As a result, gaining insight into the regulatory mechanisms governing plantaricin synthesis is essential (Bu *et al.*, 2021).

According to Bu *et al.* (2021), the plantaricin synthesis by *L. plantarum* Q7 can be divided into four stages. In the first stage (0–2 h), the bacteria were still adjusting to the environment, and plantaricin production was low. During the second stage (2–6 h), the bacteria began growing quickly, and plantaricin was produced rapidly. In the third stage (6–12 h), growth slowed down, and the production rate of plantaricin decreased, reaching its highest level at 12 h. In the final stage (12–24 h), both bacterial growth and plantaricin production stabilized, with a slight drop in production at 16 h, after which it remained steady.

Key time points were identified: the start of production at 2 h, the fastest production at 6 h, the highest amount at 12 h and a decrease in production at 16 hours. A notable decline in yield during the later stages of fermentation is often attributed to proteolytic processes.

In this study, to determine whether *L. plantarum* SU-KC1a produces plantaricin J and K, RT-PCR analysis was performed using specific primers targeting the respective bacteriocin genes. The presence of plantaricin JK was investigated after 4 h of incubation, which is the stage when plantaricin is expected to be produced rapidly. The PCR results revealed two amplicons of approximately 168 bp and 173 bp, obtained using primers specific to *plnJ* and *plnK*, respectively (Figure 1).

This result was further confirmed by comparing the fragment sizes obtained with the plantaricin sequences found in the *L. plantarum* SU-KC1a genome. Plantaricin JK has also been identified in other *L. plantarum* strains, such as C11, WCFS1, and LbM2a (Moll *et al.*, 1999; Chanel *et al.*, 2015). *plnJK* encodes complementary peptides that must function together to achieve optimal antimicrobial activity. These two peptide bacteriocins belong to the large group of heat-stable, small, non-lantibiotic

bacteriocins classified as class II bacteriocins. Both are cationic peptides, consisting of 25 and 32 amino acids, with molecular weights of 2,929 and 3,503 Da, respectively. Plantaricin JK plays a crucial role in pore formation in target cell membranes (Chanel *et al.*, 2015).

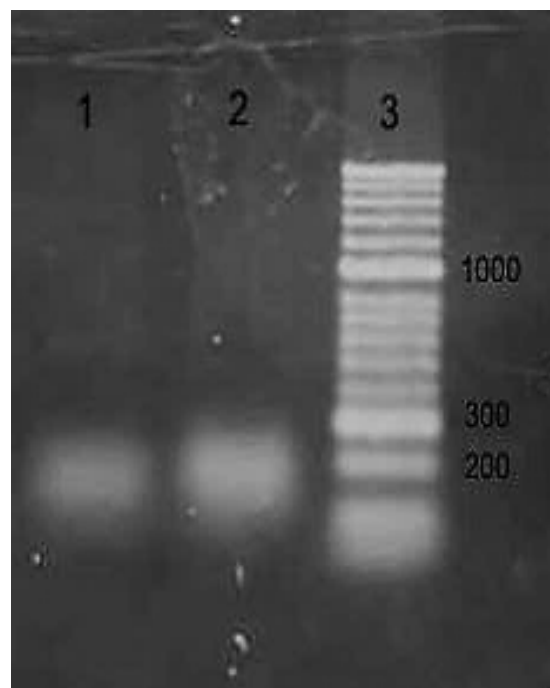


Figure 1. PCR amplification of genomic RNA from SU-KC 1a using a specific primer pair of plantaricin J (Lane 1) and K (Lane 2). The Hyperladder 50 bp (Meridian Life Science) was used as nucleic acid molecular size marker (Lane 3).

Since no external signal was added and no specific conditions were applied to the culture, Figure 1 also suggests that plantaricin JK was naturally produced by *L. plantarum* SU-KC1. Based on the transcriptomics analysis, Bu *et al.* (2021) reported that the synthesis of plantaricin Q7 was related to ABC transport system, quorum sensing system and proteolysis

system. In accordance, a study by Diep *et al.* (2009) found that plantaricin biosynthesis in monoculture is regulated in a cell density-dependent manner through an interspecies quorum-sensing (QS) system mediated by an autoinducing peptide (AIP).

Multiple strategies have been explored to enhance plantaricin biosynthesis. Among these, co-cultivation with selected bacterial strains has emerged as a potential method to stimulate plantaricin production, likely through environmental signaling. This approach may offer advantages in the food industry by enabling the synergistic utilization of the metabolic pathways of all interacting microbial species.

CONCLUSION

The results indicated that the expression of *plnJ* (168 bp) and *plnK* (173 bp) genes was detected in *L. plantarum* SU-KC1a after 4 h of incubation under standard conditions. However, further analyses, including sequence analysis, are necessary to determine whether the two amplicons share sequence homology with the structural genes of plantaricin J and K in the GenBank database.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Center for Research and Community Development at Universitas Pelita Harapan (P-07-FaST/VIII/2022).

REFERENCES

- Basa, E.L.U., Abinawanto, Sophian, A., Julendra, H., & Sofyan, A. (2020). The detection of plantaricin-encoding genes and their amino acid profiles in *Lactobacillus plantarum* AKK30 isolated from Indonesian native chicken. *Biodiversitas*, 21(12), 5792-5799. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211241>
- Bu, Y., Liu, Y., Li, J., Liu, T., Gong, P., Zhang, L., Wang, Y., & Yi, H. (2021). Analyses of plantaricin Q7 synthesis by *Lactobacillus plantarum* Q7 based on comparative transcriptomics. *Food Control*, 124, 107909. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107909>
- Chanel, A., Riazi, A., Dubois-Dauphin, R., & Thonart, P. (2015). Screening of plantaricin EF and JK in an Algerian *Lactobacillus plantarum* isolate. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(6), 474-482. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(15\)60819-2](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(15)60819-2)
- Diep, D. B., Straume, D., Kjos, M., Torres, C., & Nes, I. F. (2009). An overview of the mosaic bacteriocin *pln* loci from *Lactobacillus plantarum*. *Peptides*, 30(8), 1562-1574. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2009.05.014>
- Fijan, S. (2014). Microorganisms with claimed probiotic properties: An overview of recent literature.

- International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), 4745–4767.
<https://doi.org/10.3390/ijerph110504745>
- Hata, T., Tanaka, R., & Ohmomo, S. (2010). Isolation and characterization of plantaricin ASM1: A new bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* A-1. *International Journal of Food Microbiology*, 137, 94–99.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.021>
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11, 506–514.
<https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>
- Maldonado, A., Jiménez-Díaz, R., & Ruiz-Barba, J. L. (2004). Production of plantaricin in *Lactobacillus plantarum* NC8 after coculture with specific Gram-positive bacteria is mediated by an autoinduction mechanism. *Journal of Bacteriology*, 186(5), 1556–1564.
<https://doi.org/10.1128/JB.186.5.1556-1564.2004>
- Meng, F., Zhao, H., Zhang, C., Lu, F., Bie, X., & Lu, Z. (2015). Expression of a novel bacteriocin—The plantaricin Pln1—in *Escherichia coli* and its functional analysis. *Protein Expression and Purification*, 119, 85–93.
<https://doi.org/10.1016/j.pep.2015.11.010>
- Sugata, M., Kim, Y., Rachmah, A. F., Oei, J., Purnama, E. T., Nitbani, A. C. J., Victor, H., Jo, J., & Tan, T. J. (2024). Assessment of probiotic characteristics of *Lactiplantibacillus plantarum* SU-KC1a isolated from human breast milk in Indonesia. *Applied Food Biotechnology*, 11(1), e31.
<https://doi.org/10.22037/afb.v11i1.45707>
- Tiwari, S. K., & Srivastava, S. (2008). Purification and characterization of plantaricin LR14: A novel bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* LR/14. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79, 759–767.
<https://doi.org/10.1007/s00253-008-1471-9>
- Todorov, S. D. (2009). Bacteriocins from *Lactobacillus plantarum*—Production, genetic organization, and mode of action. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(2), 209–221.
<https://doi.org/10.1590/S1517-83822009000200001>

Optimasi Tata Letak Penyimpanan Bahan Baku Menggunakan Metode Penyimpanan Berbasis Kelas di PT. XYZ

[Optimization of Raw Material Storage Layout Using A Class-Based Storage Method at PT. XYZ]

Kurniawan Dwi Putra¹, Agustina Christiani^{2*}, Christopher Nata³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan,
Jalan M.H. Thamrin Boulevard, Lippo Village, Tangerang

*Korespondensi penulis: agustina.christiani@uph.edu

ABSTRACT

In an operational process of the manufacturing industry, one of the crucial aspects that affect efficiency and productivity is the layout of raw material storage. At present, the way raw materials are stored at PT XYZ still uses simple storage methods and there has been no adjustment to the new provisions or policies that apply. This condition causes several problems including: difficulty in grouping raw materials based on their characteristics, difficulty in ensuring proper inventory rotation. In addition, the planned installation of new machines and buildings in the production area makes it necessary to rearrange the arrangement of raw materials. Based on this background, it is necessary to rearrange the new raw material storage layout to maximize the remaining storage space to be more optimal and in accordance with future production needs with the class-based storage policy. The result of this research is a proposed layout design that can accommodate production needs in department X, Plant M, PT XYZ. Based on the analysis, it is known that the proposed layout design can reduce travel distance by 6.69%, reduce material handling costs by 7.5%, and increase space efficiency by 3.11% from the initial raw material layout. This study shows that the class-based grouping strategy and layout improvements provide significant benefits in space efficiency and operational cost reduction.

Keywords : Warehouse Layout, Class-based Storage Policy, Material Handling Costs.

ABSTRAK

Dalam proses operasional industri manufaktur, salah satu aspek krusial yang mempengaruhi efisiensi dan produktivitas adalah tata letak penyimpanan bahan baku. Pada saat ini, cara penyimpanan bahan baku di PT. XYZ masih menggunakan metode penyimpanan sederhana dan belum adanya penyesuaian dengan ketentuan atau kebijakan baru yang berlaku. Hal ini mengakibatkan beberapa masalah di antaranya: kesulitan dalam mengelompokkan bahan baku berdasarkan karakteristiknya, kesulitan dalam memastikan rotasi persediaan yang tepat. Selain itu adanya rencana pemasangan mesin dan bangunan yang baru di area produksi membuat perlu dilakukan tata ulang kembali susunan bahan baku. Berdasarkan latar belakang tersebut perlu adanya perencanaan ulang tata letak penyimpanan bahan baku yang baru untuk memaksimalkan ruang penyimpanan yang tersisa agar lebih maksimal dan sesuai dengan kebutuhan produksi ke depannya dengan metode penyimpanan berbasis kelas. Hasil penelitian ini adalah rancangan tata letak usulan yang dapat mengakomodasi kebutuhan produksi di departemen X, Plant M, PT XYZ. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa rancangan tata letak usulan yang dibuat dapat mengurangi jarak tempuh sebesar 6,69%, dan mengurangi ongkos material handling sebesar 7,5% serta meningkatkan efisiensi ruang sebesar 3,11% dari tata letak bahan baku awal. Studi ini menunjukkan bahwa strategi pengelompokan berbasis kelas dan perbaikan tata letak memberikan manfaat signifikan dalam efisiensi ruang dan pengurangan biaya operasional.

Kata kunci : Tata Letak Gudang, Penyimpanan Berbasis Kelas, Ongkos Material Handling.

PENDAHULUAN

Kemajuan pesat dalam sistem industri manufaktur mendorong para pemilik perusahaan untuk menjadi lebih kompetitif agar dapat bertahan dan bersaing di pasar. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam industri manufaktur adalah pengelolaan tata letak gudang. Dalam dunia industri, penataan gudang material menjadi aspek krusial yang berperan dalam meningkatkan produktivitas perusahaan. Perencanaan layout gudang yang optimal dapat mengurangi jarak perpindahan material, yang berdampak langsung pada efisiensi lintasan serta waktu proses (Sihaloho, Rachmawaty & Hidayatuloh, 2023).

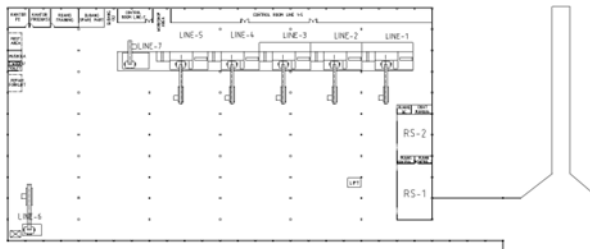
PT XYZ adalah sebuah perusahaan yang memproduksi berbagai jenis ban kendaraan bermotor seperti ban mobil, ban motor, ban truk dan bus. Perusahaan tersebut memiliki beberapa departemen untuk mendukung produksi pembuatan ban. Departemen X, Plant M, adalah salah satu departemen yang berfokus untuk membuat produk awal pembuatan ban, yaitu *compound*. *Compound* adalah lembaran produk berbahan karet yang terbuat dari campuran polimer dan bahan kimia.

Pada saat ini, sistem penyimpanan bahan baku di Departemen X masih menggunakan metode penyimpanan

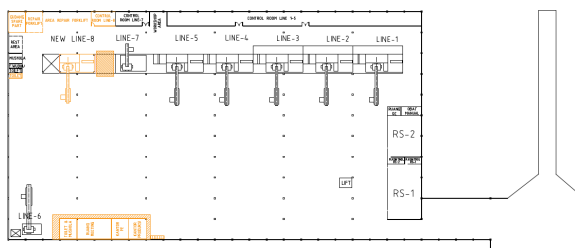
sederhana dan belum dilakukan penyesuaian terhadap ketentuan dan kebijakan penyimpanan bahan baku baru yang berlaku. Hal ini menimbulkan beberapa permasalahan di antaranya: kesulitan dalam mengelompokkan bahan baku berdasarkan karakteristiknya, kesulitan dalam memastikan rotasi persediaan yang tepat, dan kesulitan mengidentifikasi serta mengelola bahan baku yang rawan rusak atau memiliki batas kedaluwarsa. Permasalahan lainnya timbul dikarenakan adanya rencana penambahan mesin dan bangunan baru di area produksi yang mengakibatkan berkurangnya luas area penyimpanan bahan baku yang ada saat ini. Gambar 1 menunjukkan denah perencanaan penambahan mesin dan bangunan baru di Departemen X.

Perencanaan ulang tata letak bahan baku di area Departemen X perlu dilakukan karena sebagian area penyimpanan akan digunakan untuk penempatan mesin dan bangunan baru. Dalam penelitian ini, perencanaan ulang tata letak penyimpanan bahan baku dilakukan dengan metode penyimpanan berbasis kelas untuk memaksimalkan ruang yang tersedia, dengan pengelompokan bahan berdasarkan sifat fisik, kimia, atau persyaratan khusus. Rekomendasi tata letak ini diharapkan dapat mengurangi biaya penanganan

material, meminimalkan jarak perpindahan dan mengoptimalkan kapasitas penyimpanan bahan baku yang tersedia di Departemen X.



a) Area Departemen X saat ini



b) Area Departemen X yang baru

Gambar 1. Perbandingan area Departemen X sebelum dan setelah penambahan mesin dan bangunan baru

Menurut Hausman, Schwarz dan Graves (dikutip dalam Chan & Chan, 2011) terdapat 3 kategori kebijakan penyimpanan produk yaitu: penyimpanan acak (*random storage*), penyimpanan tetap (*dedicated storage*), dan penyimpanan berbasis kelas (*class-based storage*). Pada penyimpanan acak, barang masuk disimpan pada lokasi manapun yang tersedia, biasanya diletakkan pada area terdekat. Pada penyimpanan tetap, barang masuk disimpan pada lokasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Untuk volum dan frekuensi perpindahan barang yang sama,

kebijakan penyimpanan acak membutuhkan lebih sedikit area penyimpanan dibandingkan penyimpanan tetap. Namun bila terdapat jumlah variasi barang yang banyak, maka pengeluaran barang yang disimpan menggunakan kebijakan acak membutuhkan waktu lebih lama, karena dibutuhkan waktu ekstra untuk mencari lokasi barang yang tersebar secara acak (Heragu, 2006).

Penyimpanan berbasis kelas dilakukan berdasarkan konsep Pareto. Sebagai ilustrasi, dalam sebuah gudang, 80% aktivitas keluar masuk barang ditentukan oleh 20% jenis barang (kelas A), 15% ditentukan oleh 30% jenis barang (kelas B) dan 5% ditentukan oleh 50% jenis barang (kelas C) (Heragu, 2006). Untuk menghemat waktu penyimpanan dan pengeluaran barang, maka barang yang termasuk kelas A disimpan paling dekat dengan pintu keluar masuk, kelas B diletakkan di lokasi terdekat selanjutnya, begitu seterusnya untuk kelas C (Heragu, 2006).

Mengingat jumlah item yang perlu disimpan pada departemen X mencapai 80 jenis material yang berbeda, maka pada penelitian ini digunakan kebijakan penyimpanan berbasis kelas. Bila digunakan kebijakan penyimpanan acak, maka waktu untuk mencari kedelapan-puluh item yang dibutuhkan akan sangat

lama, sedangkan bila menggunakan kebijakan penyimpanan tetap, maka akan dibutuhkan area penyimpanan yang sangat besar untuk 80 item yang berbeda.

Penelitian sejenis berkaitan dengan sistem penyimpanan gudang produk menggunakan metode *Class Based Storage* dengan metode klasifikasi persediaan ABC dan FSN (*Fast Slow Non moving*) untuk mengelompokkan produk, serta memanfaatkan palet *racking system* dan *forklift* untuk meningkatkan kapasitas dan mengurangi waktu perpindahan (Putra, 2018). Pada penelitian tersebut, dibuat enam alternatif tata letak gudang yang dibandingkan berdasarkan utilitas ruang, jarak, waktu, dan biaya, dengan alternatif terpilih menggunakan *weighted factor comparison*. Pengendalian produk di gudang dilakukan dengan metode FIFO, menggunakan papan kendali dengan tanda warna hijau dan ungu untuk menunjukkan lokasi rak yang harus diisi dan diambil. Alternatif tata letak dan pengendalian produk yang terpilih menghasilkan peningkatan kapasitas, pengurangan jarak perpindahan, percepatan waktu perpindahan, dan pengurangan biaya. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Nadila Safira Isnaeni dan Novie Susanto (2022) yang meneliti jarak perpindahan barang jadi terhadap permasalahan pola penyimpanan dan penyusunan barang yang

kurang teratur sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan barang. Perbaikan dilakukan dengan metode *class based storage*, membagi barang menjadi tiga kelas dengan lokasi yang berbeda. Hasil dari penelitian ini membuat jarak perpindahan berkurang dan menurunkan biaya penanganan material. Kemudian penelitian Frisma Novariantio (2017) yang membahas permasalahan pada gudang PT Budimas Makmur Mulia yaitu penataan barang yang tidak rapi sehingga menyebabkan lorong sempit, menghambat proses penyimpanan dan pengambilan barang. Solusinya adalah perbaikan tata letak dengan metode *Class Based Storage* berdasarkan frekuensi keluar-masuk barang. Perbaikan tata letak berhasil mengurangi jarak perpindahan 7,15% dan ongkos penanganan material 4,8%. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Novera Elisa Triana dan Hayu Kartika (2022) yang bertujuan untuk memperbaiki tata letak dan sistem penyimpanan menggunakan metode *Class Based Storage* dan analisis ABC. Hasil penelitian mencakup perbaikan tata letak dengan penurunan jarak tempuh sebesar 7,25% dan pengelompokan produk ke dalam kelas A, B, dan C dengan persentase nilai kumulatif masing-masing.

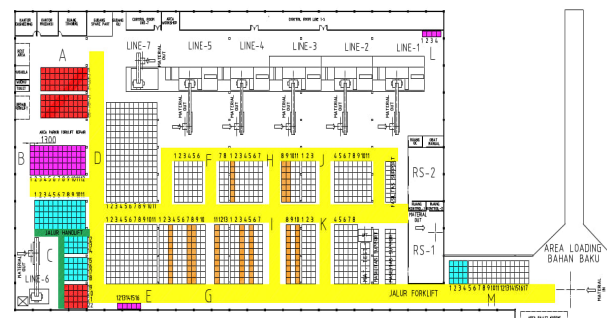
METODE PENELITIAN

Studi kasus pada penelitian ini adalah untuk menerapkan sistem penyimpanan bahan baku menggunakan metode *class-based storage* untuk mengoptimalkan kapasitas penyimpanan bahan baku dan menurunkan biaya penanganan material dengan mengurangi jarak perpindahan antara bahan baku dengan mesin pemakai, yang dilaksanakan di area produksi Departemen X, Plant M, PT. XYZ. Pengambilan data dilakukan melalui wawancara serta observasi secara langsung untuk mengetahui tata letak penyimpanan bahan baku, alur proses pendataan penerimaan dan pemakaian bahan baku per shiftnya, jenis dan harga bahan baku yang disimpan, pintu masuk bahan baku dan mesin pemakai bahan baku, jenis *material handling* yang digunakan, serta prosedur kebijakan penyimpanan bahan baku yang berlaku di perusahaan. Data yang dikumpulkan selanjutnya akan dihitung untuk memperoleh utilitas penyimpanan bahan baku, kemudian dilakukan perhitungan frekuensi perpindahan dari tiap jenis bahan baku, lalu ditentukan jumlah tempat penyimpanan serta dilakukan perhitungan jarak perpindahan material. Selanjutnya dilakukan perhitungan pembentukan kelas untuk tiap jenis bahan baku dan ongkos penanganan material (OMH), serta

perbandingan tata letak bahan baku sebelum dan setelah perbaikan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, diharapkan perusahaan dapat memaksimalkan penyimpanan yang tersedia, memangkas jarak perpindahan antara material, sehingga penyimpanan bahan baku dapat memenuhi kebijakan penyimpanan yang berlaku di perusahaan dan menurunkan biaya akibat penanganan material.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lantai produksi Departemen X saat ini memiliki luas 8.841,28 m² dengan tinggi bangunan 20 m. Departemen X memiliki 7 mesin untuk memproduksi *compound*, 2 mesin untuk memproduksi bahan kimia serta fasilitas pendukung seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Denah dan letak bahan baku sebelum perbaikan

Berdasarkan hasil pengumpulan data, Departemen X memiliki 80 item material yang disimpan dan digolongkan dalam 11 kelompok. Seluruh item tersebut setiap shiftnya dikirimkan oleh departemen

lain ke area *loading* bahan baku sebagai pintu masuk material dan disimpan di lokasi penyimpanan material. Selanjutnya item dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan compound di setiap mesin produksi sesuai dengan dokumen kerja yang berlaku. Setiap mesin yang ada di Departemen X adalah pintu keluar atau tujuan akhir dari bahan baku, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Frekuensi perpindahan material dihitung dari rata-rata penerimaan dan pemakaian bahan baku setiap shiftnya berdasarkan data periode Januari-Agustus 2023 dan diperoleh hasil 569 kali. Alokasi penyimpanan produk harus mampu memenuhi kebutuhan maksimal, sehingga digunakan perhitungan *dedicated storage* untuk mendapatkan kebutuhan kapasitas penyimpanan bahan baku (Sahara & Bakhtiar, 2016), seperti dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan tempat penyimpanan material

Nama Bahan Baku	Maksimal produk masuk (Kg)	Kapasitas material dalam satu palet (Kg)	Kebutuhan tempat penyimpanan (palet)
	a	b	c=a/b
Compd NG	31269,72	600	53
Compd NG Butyl	6529,68	600	11
MB1-140	21231,00	1173	19
MB1-172	19306,35	1145	17
MB3-110A	19203,80	1047	19
MB2-044	29494,14	1134	26
MB2-148	19887,30	1171	17
MB1-075	21027,30	1130	19
MB4-256	8198,65	683	13
MB3-355	18550,00	1050	18
MB1-172K	18387,00	1145	17
MB2-254	8388,72	699	12
MB1-179	16876,75	1137	15
MB3-4235	11922,00	1110	11

Nama Bahan Baku	Maksimal produk masuk (Kg)	Kapasitas material dalam satu palet (Kg)	Kebutuhan tempat penyimpanan (palet)
	a	b	c=a/b
MB1-105	10325,25	1032	11
MB2-150	12580,00	1020	13
MB2-163	13388,60	1024	14
MB3-4225	11900,00	1095	11
MB4-4215	13000,00	1110	12
MB3-4206	10695,00	1035	11
OES-044R	10080,00	640	16
MB3-129	10395,00	1155	9
MB2-128	13168,30	1164	12
MB4-4380	7580,00	1020	8
OES-172R	9600,00	940	11
MB2-258	8241,60	1030	8
MB4-4382	5704,00	1014	6
OES-140R	12420,00	940	14
OES-186R	2760,00	780	4
OES-192R	3057,00	780	4
RAW-RRBA	5000,00	1000	5
CEM-ALCE	3000,00	500	6
CEM-ALCC	3000,00	500	6
MB1-186	5768,10	1018	6
MB1-888	3273,54	755	5
MB1-039	2017,86	673	3
MB3-193	7480,00	1170	7
MB2-165	7688,00	1139	7
MB3-196	3910,00	690	6
CEM-CABC	7500,00	1000	8
CEM-CABA	5000,00	1000	5
CEM-ALCQ	3500,00	600	6
CEM-ALCA	2400,00	600	4
CEM-ALCD	2000,00	500	4
CEM-ACAA	5000,00	1000	5
MB2-046	10294,00	1323	8
MB1-046	5546,50	1033	6
MB1-4333	5520,50	1032	6
MB1-4334	4852,40	1203	5
MB2-169	5545,60	1040	6
MB1-168	3760,48	954	4
MB3-252	4233,12	1058	4
MB2-147	3454,00	942	4
MB2-192	6362,88	1193	6
OES-172K	6400,00	640	10
CEM-TAGE	4000,00	1000	4
CEM-REHA	4000,00	1000	4
MB2-177	3400,00	1020	4
MB1-176	3309,30	1040	4
MB2-889	2500,00	750	4
MB1-173	2637,60	989	3
MB3-189	4600,00	1170	4
MB3-127	4800,00	1200	4
MB3-194	4830,00	1200	5
OES-127R	2300,00	780	3
MB2-171	2964,50	1330	3
MB3-123	1380,00	1140	2
OES-128R	2870,00	780	4
OES-129R	2771,00	780	4
CEM-ALCR	1000,00	1000	1
CEM-ACAC	600,00	1000	1
CEM-CABG	100,00	100	1
CEM-ALCW	100,00	100	1
CEM-ALCV	100,00	100	1

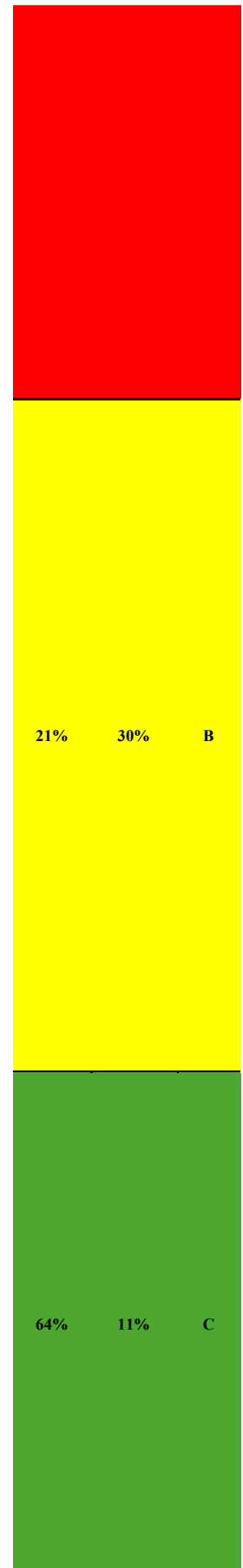
Nama Bahan Baku	Maksimal produk masuk (Kg)	Kapasitas material dalam satu palet (Kg)	Kebutuhan tempat penyimpanan (palet)
	a	b	c=a/b
CEM-ALCU	100,00	100	1
MB1-142	1200,00	975	2
MB1-136	1786,70	1072	2
MB1-312	659,74	990	1
OES-163R	1955,00	780	3
OES-141R	1200,00	640	2
TOTAL			641

Setelah kebutuhan tempat penyimpanan ditentukan, kemudian dilakukan pengelompokan penyimpanan barang berdasarkan tingkat popularitasnya dengan menggunakan prinsip *pareto*, yaitu sekitar 20% dari total barang yang disimpan menyumbang sekitar 80% dari total omset. Barang yang sangat diminati, yang sering disebut sebagai Kelas A, ditempatkan dekat dengan titik masuk/keluar (I/O), sementara barang dengan popularitas lebih rendah dari barang Kelas A digolongkan sebagai barang Kelas B, dan C (Meliala dan Saputra, 2020; Johan dan Suhada, 2018; Saidatuningtyas dan Primadhani, 2021). Dengan menggunakan metode tersebut, dilakukanlah perhitungan terhadap total penerimaan bahan baku terhadap nilai investasi dari produk tersebut, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Pembentukan Kelas

Nama Bahan Baku	Nilai investasi	% Kumulatif	Jumlah Unit	Nilai Investasi	Kelas
MB2-044	160.511.351.289	9,44%	15%	59%	A
MB1-140	113.204.152.607	16,10%			

MB3-110A	101.561.149.320	22,08%
MB1-172	95.073.166.169	27,67%
MB3-355	88.536.299.544	32,88%
MB1-075	84.659.100.629	37,86%
MB2-148	83.129.878.143	42,75%
Compd NG	80.616.253.490	47,49%
OES-140R	53.096.790.645	50,61%
MB2-128	50.720.626.747	53,59%
MB3-129	47.378.751.357	56,38%
MB3-4225	40.701.643.808	58,78%
MB1-105	40.225.642.111	61,14%
MB4-4215	39.934.207.958	63,49%
OES-172R	39.795.992.576	65,83%
MB3-4235	38.351.793.561	68,09%
OES-044R	38.216.714.592	70,34%
MB4-256	35.614.188.929	72,43%
MB3-4206	34.320.364.305	74,45%
MB1-179	32.538.219.324	76,36%
MB3-193	30.651.446.615	78,17%
MB2-150	26.476.397.088	79,72%
MB4-4380	24.476.243.645	81,16%
MB2-163	22.715.516.470	82,50%
MB2-046	21.968.205.315	83,79%
MB2-192	21.175.479.584	85,04%
MB1-4333	21.153.416.494	86,28%
MB1-172K	18.915.812.490	87,39%
MB2-254	16.798.191.983	88,38%
CEM-CABC	13.422.079.020	89,17%
MB2-165	12.094.586.904	89,88%
MB1-4334	12.043.654.263	90,59%
MB1-186	11.330.799.589	91,26%
CEM-CABA	10.296.168.660	91,86%
MB1-046	9.758.193.022	92,44%
MB4-4382	9.480.739.177	93,00%
MB3-189	9.394.829.911	93,55%
MB2-258	9.390.784.917	94,10%
MB2-169	6.906.538.754	94,51%
MB3-127	6.663.328.885	94,90%
Compd NG	6.166.047.839	95,26%
Butyl MB1-888	5.738.189.097	95,60%



MB3-194	5.215.825.189	95,91%
CEM-ALCQ	5.204.479.620	96,21%
CEM-ALCE	4.793.040.000	96,49%
MB1-168	4.574.091.718	96,76%
CEM-TAGE	4.554.805.650	97,03%
OES-172K	4.245.383.660	97,28%
OES-128R	3.906.447.357	97,51%
CEM-ACAA	3.825.000.000	97,74%
OES-192R	3.495.347.596	97,94%
OES-129R	3.464.439.953	98,14%
MB3-196	3.090.732.946	98,33%
MB3-252	2.788.581.838	98,49%
OES-163R	2.639.558.505	98,65%
MB2-147	2.608.506.770	98,80%
MB1-176	2.599.399.730	98,95%
MB1-039	2.571.666.392	99,10%
CEM-ALCA	2.448.844.800	99,25%
MB2-171	2.208.589.614	99,38%
CEM-REHA	1.518.483.540	99,47%
CEM-ALCC	1.401.986.850	99,55%
RAW-RRBA	1.340.596.480	99,63%
OES-186R	916.496.030	99,68%
CEM-ALCD	858.255.595	99,73%
MB1-142	798.795.810	99,78%
OES-141R	788.189.534	99,83%
OES-127R	766.746.817	99,87%
MB2-177	697.303.280	99,91%
MB1-136	371.077.750	99,93%
CEM-ALCR	267.990.470	99,95%
MB2-889	245.685.530	99,96%
MB1-173	178.221.735	99,97%
MB1-312	158.867.022	99,98%
CEM-ALCW	104.610.000	99,99%
MB3-123	42.774.080	99,99%
CEM-ACAC	40.800.000	100,00%
CEM-ALCV	39.932.072	100,00%
CEM-CABG	29.403.000	100,00%
CEM-ALCU	23.927.715	100,00%
Total	1.700.027.821.472	

Terdapat 12 jenis bahan baku yang masuk dalam kelas A dengan persentase jumlah

unit sebanyak 15% dan nilai investasi sebesar 59%. Dalam kelas B terdapat 17 jenis bahan baku, dengan persentase jumlah unit sebanyak 21% dan nilai investasi sebesar 30%. Yang termasuk kelas C adalah 51 jenis bahan baku dengan persentase jumlah unit sebanyak 64% dan nilai investasi sebesar 12%. Semakin populer suatu barang, maka semakin pendek pula jarak perpindahannya. Hal tersebut dapat dicapai dengan menyimpan barang-barang populer pada area penyimpanan terdekat dengan titik keluar-masuk barang (Saidatuningtyas dan Primadhani, 2021). Oleh karena itu bahan baku kelas A menjadi prioritas yang akan diletakkan dan disimpan dekat pintu keluar, dilanjutkan dengan kelas B dan seterusnya kelas C.

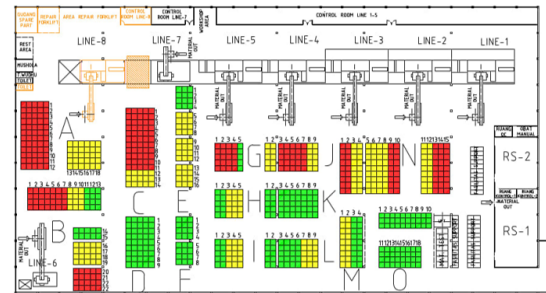
Sistem material *handling* di Departemen X menggunakan *forklift* dan *handlift* sebagai alat bantu operasional untuk memindahkan material. Forklift digunakan untuk meletakkan material ke dalam ruang penyimpanan dan mengangkat material ke setiap mesin untuk proses produksi. *Handlift* digunakan di area mesin lini 6 untuk mengangkat material dari penyimpanan ke mesin untuk proses produksi. Palet digunakan sebagai alas penyimpanan bahan baku.

Departemen X menggunakan 2 jenis palet yaitu palet plastik dan besi,

dengan ukuran palet 1,3 m x 1,3m x 0,2 m dan memiliki 3 buah forklift tipe FD25NT dengan dimensi terluar saat membawa palet adalah sebesar 3,85 m x 1,3 m, sedangkan *handlift* yang digunakan berjenis PKV-5000 yang memiliki dimensi total saat membawa palet dan dioperasikan oleh operator sebesar 2,7 x 1,3 m. Dengan perhitungan panjang diagonal, dapat ditentukan lebar lorong sehingga material *handling* dapat bermanuver dengan baik. (Saidatuningtyas dan Primadhani, 2021) Dengan perhitungan panjang diagonal, maka didapatkan lebar minimum lorong agar forklift dapat bermanuver sebesar 4,06 m dan *handlift* sebesar 3 m. Nilai ini yang akan menjadi acuan untuk pembuatan jalur *forklift* dan *handlift* pada tata letak bahan baku akhir di perusahaan.

Dari perhitungan penentuan kapasitas minimum, lebar lorong (*aisle*) dan pembentukan kelas, maka dirancang susunan penyimpanan bahan baku sesuai dengan data yang diperoleh. Gambar 3 menunjukkan susunan penyimpanan bahan baku yang telah memenuhi kebutuhan perusahaan. Penyimpanan bahan baku dikelompokkan berdasarkan jenis bahan baku tersebut, namun dengan tetap memprioritaskan penyimpanan bahan baku kelas A agar lebih dekat dengan pintu keluar material. Gambar 3 menunjukkan tata letak masing-masing kelas bahan baku

yang disimpan. Warna merah untuk bahan baku kelas A, warna kuning untuk kelas B, dan warna hijau untuk kelas C.



Gambar 3. Tata letak bahan baku setelah perbaikan
Space Utilization Efficiency (SUE)

atau utilitas ruangan, dihitung berdasarkan rasio volume ruang terpakai terhadap volume ruangan yang tersedia (Isnaeni dan Susanto, 2022). Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan volume bangunan sebelum dan setelah perbaikan tata letak adalah sebesar 177.000 m³, dengan volume ruangan terpakai pada tata letak awal adalah 24.531,82 m³ dan volume terpakai pada tata letak akhir adalah 30.032,86 m³. Oleh karena itu didapatkan nilai utilitas ruangan pada tata letak awal sebesar 13,86% dan tata letak akhir sebesar 16,97%.

Efisiensi tata letak ditentukan berdasarkan hasil kali jarak tempuh material yang dihitung dengan metode rectiliner dengan frekuensi perpindahan produk. Hasil perhitungan jarak perpindahan material dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan Jarak Tempuh Sebelum dan Setelah Perbaikan Tata Letak

No	Nama Bahan Baku	Jarak Perpindahan sebelum (m)	Jarak Perpindahan setelah (m)
1	CEM-ACAC	600,25	224,15
2	CEM-ALCR	594,65	224,15
3	CEM-ACAA	1.458,63	527,87
4	CEM-ALCA	1.444,63	540,87
5	CEM-ALCC	1.716,76	633,44
6	CEM-ALCD	1.416,63	540,87
7	CEM-ALCE	1.683,16	617,94
8	CEM-ALCQ	1.388,63	501,78
9	CEM-CABA	1.374,63	488,78
10	CEM-CABC	1.346,63	508,37
11	CEM-REHA	1.178,11	443,09
12	CEM-TAGE	1.088,51	453,49
13	CEM-ALCU	284,56	224,15
14	CEM-ALCV	284,56	224,15
15	CEM-ALCW	284,56	224,15
16	CEM-CABG	284,56	224,15
17	RAW-RRBA	1.621,96	790,36
18	MB1-046	881,00	795,50
19	MB1-142	352,40	323,00
20	MB2-044	2.841,02	2.640,00
21	MB2-046	881,00	795,50
22	MB1-4333	1.171,55	582,55
23	MB1-4334	1.171,55	575,55
24	MB1-136	273,22	372,58
25	MB1-173	576,44	687,16
26	MB1-176	576,44	687,16
27	MB1-312	273,22	372,58
28	MB2-889	546,44	745,16
29	MB2-171	409,83	558,87
30	MB2-177	576,44	687,16
31	MB3-123	432,33	515,37
32	MB1-888	1.030,85	902,45
33	MB1-039	1.188,05	1.099,84
34	MB1-075	2.388,11	2.605,11
35	MB1-105	1.035,98	1.035,98
36	MB1-140	2.366,89	2.133,79
37	MB1-168	720,55	720,55
38	MB1-172	1.810,96	1.958,56
39	MB1-172K	1.207,31	1.368,11
40	MB1-179	1.705,79	2.141,79
41	MB1-186	861,05	837,05
42	MB2-147	648,05	726,05
43	MB2-148	2.558,69	2.791,19
44	MB2-150	1.304,18	1.197,08
45	MB2-163	1.535,21	1.535,21
46	MB2-169	720,55	725,05
47	MB2-254	1.555,31	1.898,51

No	Nama Bahan Baku	Jarak Perpindahan sebelum (m)	Jarak Perpindahan setelah (m)
48	MB2-258	907,26	911,46
49	MB3-110A	2.305,74	2.305,74
51	MB3-252	648,05	739,05
52	MB3-355	1.684,92	1.684,92
53	MB4-256	1.912,53	2.087,53
50	MB3-189	562,84	521,64
54	MB2-128	1.228,87	1.036,87
55	MB2-165	864,65	864,65
56	MB2-192	576,55	658,55
57	MB3-127	527,24	518,44
58	MB3-129	1.329,67	1.036,87
59	MB3-193	810,65	868,25
60	MB3-194	460,44	532,04
61	MB3-196	931,85	837,05
62	MB3-4206	1.646,81	1.674,71
63	MB3-4225	1.535,21	1.535,21
64	MB3-4235	1.787,79	2.063,79
65	MB4-4215	1.697,21	1.535,21
66	MB4-4380	1.375,27	1.302,47
67	MB4-4382	1.144,56	1.139,66
68	Compd NG	6.718,25	7.112,49
69	Butyl	2.561,90	2.561,90
70	OES-127R	518,44	791,64
71	OES-128R	388,83	593,73
72	OES-129R	388,83	593,73
73	OES-140R	602,76	756,76
74	OES-163R	341,16	372,16
75	OES-172K	503,05	1.134,55
76	OES-172R	804,87	953,67
77	OES-186R	805,76	1.486,86
78	OES-192R	805,76	2.090,14
79	OES-044R	1.431,90	1.584,00
80	OES-141R	318,20	352,00
Total		91.779,65	85.643,96

Tabel 3 menunjukkan rata-rata jarak perpindahan bahan baku per shift adalah sejauh 91.779,65 meter/shift pada tata letak sebelum perbaikan, namun setelah tata letak diperbaiki jarak tempuh berkurang menjadi 85.643,96 meter/shift.

Ongkos material *handling* (OMH) adalah biaya yang dikeluarkan selama

proses pemindahan material meliputi biaya perawatan alat/mesin, biaya bahan bakar, depresiasi dan biaya operator. Dalam perhitungan OMH, digunakan data harga bahan bakar solar sebesar Rp. 6.800/liter (Sanjaya dan Kurniawan, 2023), dan biaya operator dihitung berdasarkan UMR Tangerang tahun 2023 sebesar Rp. 4.584.519,08/bulan (Idris, 2023) serta jarak perpindahan material seperti tertera pada tabel 3. Ongkos material *handling* pada tata letak sebelum dan setelah perbaikan ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Ongkos Material Handling (OMH)

	Sebelum	Sesudah
OMH Forklift (Rp.)	Rp. 704.626.114,87	Rp. 657.989.828,81
OMHHandlift (Rp.)	Rp. 46.053.191,32	Rp. 36.363.504,38
Total OMH (Rp.)	Rp. 750.679.306,19	Rp. 694.353.333,19

Dari tabel 4, dapat dilihat bahwa dengan rancangan tata letak setelah perbaikan, ongkos material handling menurun sebesar Rp. 56.325.973 atau 7,5%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa jarak perpindahan bahan baku dengan *layout* usulan dapat memangkas jarak tempuh sejauh 6.135,73 m/shift atau berkurang sebesar 6,69%. Utilitas ruangan penyimpanan bahan baku di Departemen X mengalami peningkatan sebesar 3,11% dari sebelumnya adalah

sebesar 13,86% menjadi 16,97%. Lalu dari ongkos material handling (OMH) yang dihitung, layout akhir dapat menurunkan biaya material handling sebesar Rp. 56.325.973, dari sebelumnya sebesar Rp. 750.679.306 menjadi Rp. 694.353.333 atau turun sebesar 7,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2686–2700. <https://doi:10.1016/j.eswa.2010.08.058>
- Heragu, S. S. (2006). *Facilities Design* (2nd ed.). iUniverse.
- Idris, M. (2023). *UMR Tangerang 2023: Kota Tangerang, Tangsel, dan Kabupaten*. Kompas. Retrieved November 26, 2023 from: <https://money.kompas.com/read/2023/01/12/105719326/umr-tangerang-2023-kota-tangerang-tangsel-dan-kabupaten?page=all>
- Isnaeni, N. S. & Susanto, N. (2022). Penerapan Metode Class Based Storage untuk Perbaikan Tata Letak Gudang Barang Jadi (Studi Kasus Gudang Barang Jadi K PT Hartono Istana Teknologi). *Industrial Engineering Online Journal*, 10(3), <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/33663>.
- Johan, J. & Suhada, K. (2018). Usulan Perancangan Tata Letak Gudang dengan Menggunakan Metode Class-Based Storage (Studi Kasus di PT Heksatex Indah, Cimahi Selatan). *Journal of Integrated System*, 1(1), 52-

71. <https://doi.org/10.28932/jis.v1i1.989>.
- Meliala, G.N. & Saputra, D.W. (2020). Usulan Tata Letak Gudang Non Semen Menggunakan Metode Class – Based Storage di PT Intiaga Sukses Abadi Cabang Medan. *Jurnal Industri Kreatif*, 4(1), 17-26. <https://doi.org/10.36352/jik.v4i01.23>.
- Novariantio, F. (2017). Usulan Perbaikan Tata Letak Gudang Distribusi Dengan Metode Class Based Storage (Studi Kasus: PT. Budimas Makmur Mulia, Surakarta). [Bachelor's degree thesis]. Universitas Setia Budi, Surakarta.
- Putra, Y.A. (2018). Rancangan Perbaikan Tata Letak Gudang dengan Metode Class Based Storage dan Pallet Racking System. [Bachelor's degree thesis]. Universitas Brawijaya, Malang.
- Sahara, S.N.A. & Bakhtiar, A. (2016). Perbaikan Tata Letak Penempatan Material di Area Gudang Penyimpanan Material Berdasarkan Class Based Storage Policy (Studi Kasus: Gudang PT. TIMATEX Salatiga). *Industrial Engineering Online Journal*, 5(4), <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/14068>
- Saidatuningtyas, I. & Primadhani, W.N. (2021). Racking System Dengan Kebijakan Class Based Storage Di Gudang Timur PT INDUSTRI KERETA API (INKA) PERSERO. *Jurnal Logistik Bisnis*, 11(1), 37-42. <https://doi.org/10.46369/logistik.v1i1.1376>
- Sanjaya, Y.C.A. & Kurniawan, R.F. (2023). *Update Harga BBM Pertamina per 1 Januari 2023 di Seluruh Indonesia*. Kompas. Retrieved November 26, 2023 from: [https://www.kompas.com/tren/read/2023/01/01/123000065/update-harga-](https://www.kompas.com/tren/read/2023/01/01/123000065/update-harga-bbm-pertamina-per-1-januari-2023-di-seluruh-indonesia)
- [bbm-pertamina-per-1-januari-2023-di-seluruh-indonesia](https://doi.org/10.33005/wj.v16i1.55).
- Sihaloho, B. A., Rachmawaty D., & Hidayatulloh, S. (2023). Re-Layout Gudang Sparepart dengan Metode Class- Based Storage. *Prosiding Seminar Nasional Waluyo Jatmiko*, 16(1), 381–390. <https://doi.org/10.33005/wj.v16i1.55>.
- Triana, N.A. & Kartika, H. (2022). Perbaikan Tata Letak dan Sistem Penyimpanan Barang Di Gudang Finish Goods Menggunakan Metode Class Based Storage. *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri (PASTI)*, 16 (3) , 348-359. <http://dx.doi.org/10.22441/pasti.2022.v16i3.009>

Efek *Edible Coating* dengan Penambahan Ekstrak Daun Jati pada Mutu Daging Sapi Segar

[*Effect of Edible Coating with Addition of Teak Leaf Extract on The Quality of Fresh Beef*]

Helenna Meldi¹, Ratna Handayani^{2*}

^{1,2}Teknologi Pangan, Universitas Pelita Harapan, Jl. M. H. Thamrin Boulevard 1100
Lippo Village, Tangerang

*Korespondensi penulis: ratna.handayani@uph.edu

ABSTRACT

*Beef is one of perishable food because it has the availability of complete nutrition. Storage at low temperature could slow down quality degradation. Edible coating is a method that has been proven capable of protecting and inhibiting damage to food products. The addition of antimicrobial compounds can be an alternative in increasing the durability and quality of food during storage. Red teak leaves, Chinese teak leaves and Dutch teak leaves are known to have active compounds that can act as antibacterial. This study aims to study the effect of adding different types of teak leaf extract as an additive to the edible coating on the quality of beef stored at refrigerator temperatures. Each ethanol extract of teak leaves will be seen its antibacterial activity based on inhibition zones produced using the well diffusion method, MIC (Minimum Inhibitory Concentration) and MBC (Minimum Bactericidal Concentration) at concentrations of 1, 2, and 3%. Red teak leaves have the ability to produce the best inhibition zone diameter between the two other types of teak leaves at 3% extract concentration can produce inhibition zone diameter of 14.85 ± 0.05 mm against *Escherichia coli* bacteria and 12.93 ± 0.55 mm against *Staphylococcus aureus* bacteria. Edible coating with the addition of 3% red teak leaf extract is known to be able to maintain the quality of beef until the storage time of the 9th day at refrigerator temperature (chilling) based on parameters of pH, color (lightness and hue value) and total plate count (TPC).*

Keywords : antibacterial, beef quality, edible coating, storage time, teak leaves

ABSTRAK

Daging sapi merupakan bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan karena memiliki ketersediaan nutrisi yang lengkap. Salah satu cara untuk memperlambat penurunan mutu daging sapi yaitu dengan penyimpanan suhu rendah. *Edible coating* merupakan metode yang telah terbukti mampu melindungi dan menghambat kerusakan produk pangan. Penambahan senyawa anti mikroba dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan daya tahan dan kualitas bahan pangan selama penyimpanan. Daun jati Merah, daun jati Cina dan daun jati Belanda diketahui memiliki senyawa aktif yang dapat berperan sebagai antibakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek dari penambahan ekstrak daun jati dengan jenis yang berbeda sebagai bahan tambahan pada *edible coating* terhadap mutu daging sapi yang disimpan pada suhu *refrigerator*. Setiap ekstrak daun jati akan dilihat aktivitas antibakterinya berdasarkan zona hambat yang dihasilkan menggunakan metode difusi sumur, nilai MIC (*Minimum Inhibitory Concentration*) dan MBC (*Minimum Bactericidal Concentration*) pada konsentrasi 1, 2, dan 3%. Daun jati Merah memiliki kemampuan menghasilkan diameter zona hambat yang paling baik diantara kedua jenis daun jati lainnya pada konsentrasi ekstrak 3% dapat menghasilkan diameter zona hambat sebesar $14,85 \pm 0,05$ mm terhadap bakteri *Escherichia coli* dan $12,93 \pm 0,55$ mm terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*. *Edible coating* dengan penambahan ekstrak daun jati Merah 3% diketahui mampu mempertahankan mutu

daging sapi hingga waktu penyimpanan hari ke-9 pada suhu *chilling (refrigerator)* berdasarkan parameter mutu pH, warna (lightness dan nilai *Hue*) dan *total plate count* (TPC).

Kata kunci : antibakteri, daging sapi, daun jati, *edible coating*, waktu penyimpanan

PENDAHULUAN

Daging sapi merupakan bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan. Salah satu cara menurunkan risiko kerusakan pada daging sapi dengan menyimpan pada suhu rendah. Penyimpanan pada suhu rendah (pada *refrigerator*) selama 3 hingga 7 hari. Penyimpanan yang terlalu lama pada *refrigerator* akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada warna dan aroma daging, sehingga diperlukan alternatif lain yang dapat membantu penyimpanan daging sapi pada *refrigerator*.

Edible coating merupakan material yang digunakan untuk melapisi permukaan makanan secara menyeluruh yang bertujuan untuk memperpanjang umur simpan dari bahan pangan. *Edible coating* dapat menggantikan lapisan alami atau sebagai pelapis tambahan untuk mencegah hilangnya kelembaban, serta mengontrol pertukaran gas seperti oksigen, karbon dioksida, dan gas etilen yang berperan dalam proses respirasi. *Edible film* atau *coating* juga dapat menjaga permukaan produk tetap bersih dan mencegah hilangnya komponen penting lain (Embuscado dan Huber, 2009). Bahan dasar

edible coating umumnya berbasis polisakarida yang diketahui efektif sebagai lapisan *barrier* dan dapat melekat sempurna pada permukaan bahan pangan (Parreidt, T.S., *et al.*, 2018). Penggunaan polisakarida pada *edible coating* bersifat mudah terurai (*biodegradable*), mudah diperoleh dan murah sehingga seringkali dimanfaatkan untuk pembuatan *edible coating*. Penambahan bahan antimikroba diketahui menjadi salah satu pilihan alternatif dalam pembuatan *edible coating* yang dapat berperan dalam meningkatkan daya tahan dan kualitas bahan selama penyimpanan (Johanes, *et al.*, 2022). Daun jati merah, daun jati cina dan daun jati belanda diketahui memiliki senyawa aktif yang dapat berperan sebagai antibakteri.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek dari penambahan ekstrak daun jati dengan jenis yang berbeda sebagai bahan tambahan pada *edible coating* terhadap mutu daging sapi yang disimpan pada suhu *chilling (refrigerator)*.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang dipergunakan adalah daun jati merah (*Tectona grandis* Linn. f.), daun jati Cina (*Cassia angutifolia* Vahl), daun jati Belanda (*Guazuma ulmifolia* lamk.), *kappa*-karagenan, gliserol, daging sapi segar, etanol, suspense bakteri *Eschericia coli* dan *Staphylococcus aureus*, aquadest, media *Nutrient Agar* (NA), media *Nutrient Broth* (NB), media *Plate Count Agar* (PCA), Folin 10%, asam galat, Na_2CO_3 7,5%, quercetin, FeCl 1%, NaOH 1N, AlCl_3 , silica, garam fisiologis.

Alat yang dipergunakan adalah *dry blender*, ayakan 60 mesh, *autoclave*, *incubator*, *parafilm*, *film applicator*, *thermometer*, *vortex*, pH meter “Metro Hm 913”, *rotary evaporator* “Buchi”, spektrofotometer UV-Vis “FTIR”, *kromameter* “Konica Minolta”.

Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan melakukan ekstraksi daun jati merah, daun jati cina, dan daun jati belanda dengan menggunakan metode maserasi menggunakan pelarut etanol. Ekstrak hasil maserasi supaya bebas dari pelarut etanol dengan cara menguapkan pelarut etanol menggunakan *rotary evaporator* dengan suhu 60°C pada tekanan 175 mbar. Hasil ekstraksi dari berbagai jenis daun jati (yang bebas dari etanol) dilakukan pengujian total

fenolik, total flavonoid, dan sifatnya sebagai antimikroba. Pada tahap berikutnya dilakukan penambahan ekstrak daun jati pada *edible coating* untuk daging sapi segar yang disimpan pada suhu *refrigerator*. Ekstrak daun jati yang dipergunakan adalah dari daun jati Merah, daun jati Cina dan daun jati Belanda dengan konsentrasi masing-masing ekstrak yang ditambahkan pada formulasi *edible coating* sebesar 2%, 3%, dan 4%.

Minimum Inhibitory Concentration (MIC) dan Minimum Bactericidal Concentration (MBC) (Angela, 2019; Wahyuni, et al., 2023)

Hasil uji aktivitas antibakteri dengan metode difusi sumur digunakan untuk menentukan nilai MIC dan MBC dengan cara membuat plot berupa kurva linear antara konsentrasi ekstrak etanol daun jati (ln Mo) sebagai sumbu x dan nilai kuadrat diameter zona hambat (Z^2) sebagai sumbu y. MIC diperoleh ketika nilai Mt dikali dengan 0,25, sedangkan MBC diperoleh dari hasil empat kali nilai MIC.

Pembuatan Edible Film (ASTM E96-95)

Pembuatan *edible film* berbahan dasar karagenan dengan gliserol sebagai *plasticizer* dan ekstrak daun jati sebagai komponen antibakteri. *Edible film* diukur laju transmisi uap air (LTUA) menggunakan metode gravimetri yang

bertujuan untuk mengukur besarnya uap air yang mampu menembus lapisan *edible film*. Perhitungan LTUA dapat ditentukan dengan rumus:

$$LTUA = \frac{\text{perubahan berat}}{\text{Luas area film} \times \text{waktu}}$$

Aplikasi *Edible Coating* pada Daging Sapi

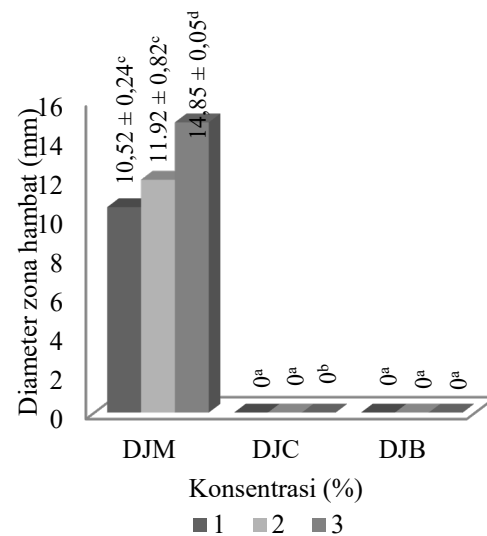
Edible coating dengan penambahan ekstrak etanol daun jati terbaik dari penelitian sebelumnya diaplikasikan pada daging sapi segar yang telah dipotong dengan dimensi 4x4x4 cm. Pada tahap ini, daging sapi segar yang diberi *edible coating* dibandingkan dengan daging sapi segar tanpa diberi *coating*. Metode *coating* yang dipilih adalah metode celup atau *dipping*. Daging sapi yang telah dilapisi *edible coating* dan tanpa *coating* akan disimpan pada penyimpanan dingin suhu *chilling* (*refrigerator*) (4°C) selama 3, 6, 9, dan 12 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Ekstrak Etanol Daun Jati Terhadap Diameter Zona Hambat Bakteri *Escherichia coli*

Berdasarkan hasil analisis statistik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) pada interaksi antara jenis ekstrak

daun jati dan konsentrasi ekstrak dalam menghambat bakteri *Escherichia coli*.



Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$)

DJM = Daun jati merah, DJC = Daun jati cina, DJB = Daun jati belanda

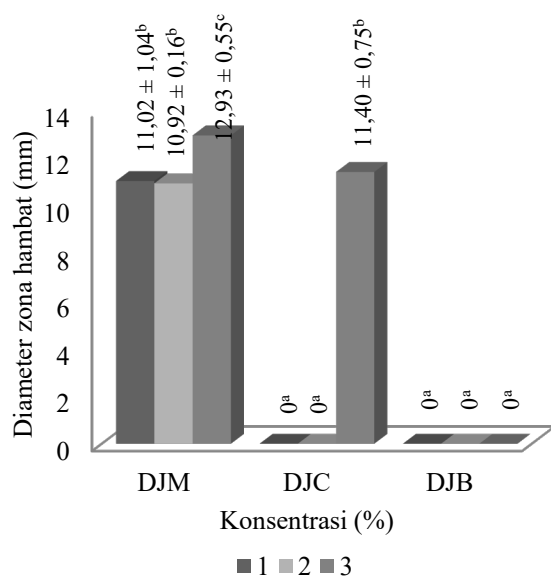
Gambar 1. Pengaruh jenis daun jati dan konsentrasi ekstrak etanol daun jati terhadap diameter zona hambat bakteri *Escherichia coli*

Pengaruh jenis dan konsentrasi ekstrak etanol daun jati diketahui memberikan hasil yang berbeda nyata dalam menghambat bakteri *Escherichia coli*. Jenis ekstrak etanol daun jati merah memperoleh hasil zona hambat yang lebih baik dibandingkan daun jati cina dan daun jati belanda. Hal ini sesuai dengan (Purushotham dan Sankar, 2013; Esther, 2017) yang menyatakan bahwa daun jati Merah mampu menghambat pertumbuhan bakteri seperti *Shigella boydii*, *Streptococcus pyogenes*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, dan

Salmonella thypi karena kandungan fenoliknya yang tinggi. Daun jati Merah memiliki total fenolik sebesar $105,88 \pm 4,51$ mg GAE/g, daun jati Cina sebesar $40,56 \pm 0,59$ mg GAE/g, dan daun jati Belanda sebesar $34,28 \pm 0,37$ mg GAE/g.

Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Ekstrak daun jati Terhadap Diameter Zona Hambat Bakteri *Staphylococcus aureus*

Berdasarkan hasil analisis statistik yang dapat dilihat pada Gambar 2 terdapat interaksi antara jenis dan konsentrasi ekstrak daun jati ($p < 0,05$) terhadap zona hambat bakteri *Staphylococcus aureus*.



Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$)
DJM = Daun jati merah, DJC = Daun jati cina,
DJB = Daun jati belanda

Gambar 2. Grafik pengaruh jenis daun jati dan konsentrasi ekstrak etanol daun jati terhadap diameter zona hambat bakteri *Staphylococcus aureus*

Pada ekstrak daun jati Cina terlihat adanya zona hambat terbentuk pada konsentrasi 3% dengan diameter sebesar $11,40 \pm 0,75$ mm yang termasuk kedalam kategori daya hambat yang kuat (Trisia, *et al.*, 2018). Ramadhani, *et al.*, (2023) menyatakan bahwa daun jati Cina memiliki daya hambat lebih besar terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* yang merupakan bakteri Gram positif, dibandingkan dengan bakteri *Escherichia coli*. Pada penelitian ini aktivitas antibakteri berdasarkan nilai MIC dan nilai MBC menunjukkan bahwa ekstrak daun jati Cina memiliki nilai MIC sebesar 0,30% dan MBC sebesar 1,20% terhadap bakteri *Staphylococcus aureus*.

Pada ekstrak daun jati Belanda tidak terlihat adanya zona hambat yang terbentuk pada konsentrasi 1, 2, dan 3% yang menunjukkan hasil tidak signifikan antara ekstrak daun jati Belanda dengan konsentrasi ekstrak. Berdasarkan diameter zona hambat yang terbentuk jenis ekstrak daun jati Merah pada konsentrasi 3% memiliki kemampuan sebagai antibakteri yang paling baik dalam menghambat bakteri *Staphylococcus aureus*.

Karakteristik *Edible Film* Berdasarkan Laju Transmisi Uap Air

Pada penelitian tahap sebelumnya diperoleh hasil bahwa ekstrak daun jati Merah merupakan ekstrak terpilih

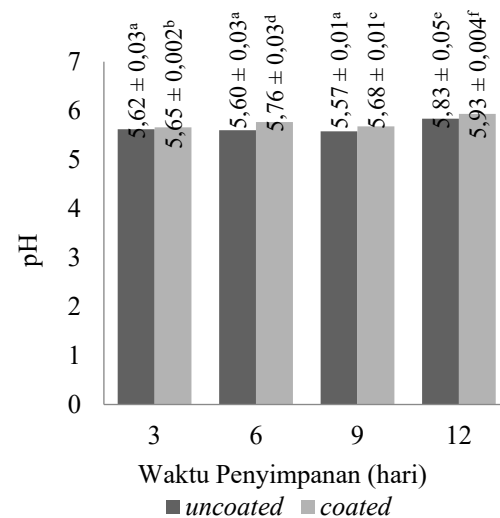
berdasarkan kemampuannya dalam menghambat bakteri Gram positif *Staphylococcus aureus* dan bakteri Gram negatif *Escherichia coli*.

Edible film dengan penambahan ekstrak etanol daun jati merah memiliki laju transmisi sebesar $0,5247 \pm 0,10 \text{ g/m}^2 \text{ jam}$. *Edible film* yang ideal memiliki laju transmisi uap air yang rendah karena dianggap dapat menghalangi perpindahan uap air dari udara sekitar dan bahan pangan. Menurut Ramadhani, *et al.* (2023) penambahan ekstrak daun jati merah pada formulasi *edible film* berbahan dasar karagenan dapat menghasilkan laju transmisi uap air yang semakin rendah. Adanya penambahan gliserol juga dapat meningkatkan karakteristik *edible film* sebagai *barrier* uap air. Laju transmisi uap air dapat dipengaruhi oleh ketebalan *edible film*, sifat hidrofilik dari bahan dasar, dan penambahan *plasticizer* (Ulum, *et al.*, 2018).

Pengaruh Perlakuan *Edible Coating* dan Waktu Penyimpanan Daging Sapi

pH

Hasil analisis statistik pada Gambar 3 menunjukkan terdapat interaksi ($p < 0,05$) antara perlakuan *coating* pada daging sapi.



Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 3. Pengaruh perlakuan *edible coating* dan waktu penyimpanan terhadap pH daging sapi

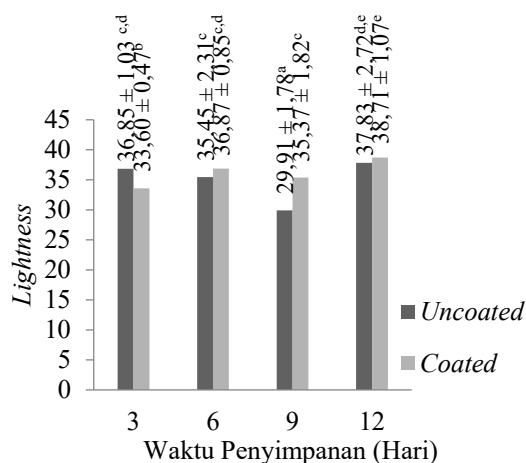
Daging sapi normal memiliki kisaran pH 5,5-5,8 (Liur, *et al.*, 2022). Nilai pH daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *edible coating* pada penyimpanan hari ke-9 menunjukkan hasil yang signifikan. Nilai pH daging sapi dengan perlakuan *coating* masih normal, sedangkan pH daging sapi tanpa perlakuan *coating* sudah mulai mendekati batas minimal pH daging sapi normal. Nilai pH daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* pada penyimpanan hari ke-9 dikatakan masih dapat mempertahankan mutu pH karena pada hari ke-12 daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* mulai mengalami kerusakan. Hal ini disebabkan karena habisnya ketersediaan glikogen untuk memproduksi asam laktat yang dilanjutkan

dengan proses netralisasi oleh senyawa alkali dari hasil metabolisme mikroba yang ditandai dengan kenaikan nilai pH dan perubahan warna daging yang menjadi gelap (Alifia, *et al.*, 2020). Pada tahap ini menandakan bahwa daging mulai memasuki proses pembusukan dan meningkatnya pertumbuhan bakteri.

Warna

Lightness

Berdasarkan hasil analisis warna menggunakan kromameter menunjukkan adanya pengaruh dari perlakuan *coating* dan waktu penyimpanan terhadap intensitas warna (L) daging sapi ($p < 0,05$). Pada Gambar 4. dapat dilihat pengaruh perlakuan *coating* dan waktu penyimpanan terhadap *lightness* daging sapi.



Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$)

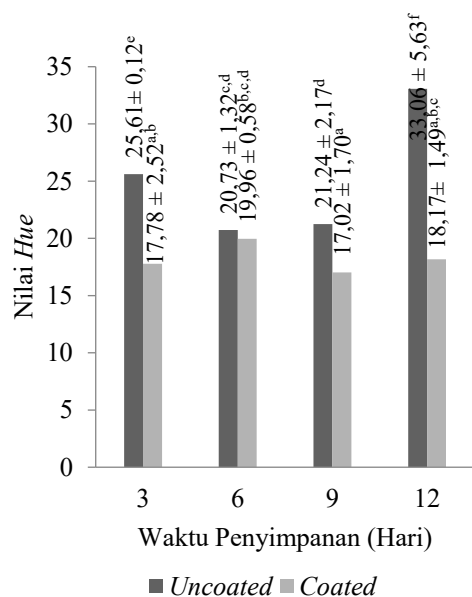
Gambar 4. Hasil analisis warna *lightness* daging sapi

Pada perlakuan daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* hari ke-9 memiliki warna yang hampir menyerupai kontrol yaitu merah-keunguan. Meskipun

begitu pada Gambar 4. menunjukkan nilai *lightness* yang signifikan untuk daging dengan atau tanpa perlakuan *coating* di hari ke-9, dimana nilai *lightness* yang diperoleh adalah $35,37 \pm 1,82$ dan $29,91 \pm 1,78$. Nilai *lightness* pada daging sapi tanpa perlakuan *coating* lebih rendah, ini dapat disebabkan karena pada penyimpanan hingga hari ke-9 daging telah mengalami proses redoks myoglobin. Daging dengan perlakuan *coating* nilai *lightness* lebih tinggi karena berada dalam kondisi kedap udara akibat lapisan *edible coating* yang menjadi *barrier* penghalang pertukaran gas O_2 maupun CO_2 . Kondisi lingkungan daging dengan kadar oksigen yang sangat rendah ($<1,4$ mmHg) dapat mempertahankan myoglobin pada fase terdeoksigenasi sehingga daging tetap berwarna merah keunguan (Mancini dan Hunt, 2005).

Nilai Hue

Pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh lama penyimpanan terhadap nilai *Hue* untuk daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($p < 0,05$).



Keterangan: notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 5. Hasil analisis warna nilai *Hue* daging sapi.

Pada waktu penyimpanan daging tanpa perlakuan *coating* menunjukkan hasil yang signifikan pada hari ke-3, hari ke-6, hari ke-9, dan hari ke-12. Hal ini disebabkan karena daging sapi tanpa perlakuan *coating* terpapar oleh oksigen yang menyebabkan pigmen myoglobin pada daging mengalami perubahan menjadi oxymyoglobin yang menunjukkan warna merah cerah. Pada hari ke-12 nilai *Hue* mengalami peningkatan yang menunjukkan daging berubah warna menjadi coklat, karena oxymyoglobin berubah menjadi metmyoglobin. Aberle, *et al.*, (2001) menyatakan ketika globin telah rusak dan hilang kemampuannya dalam mengikat oksigen, maka ion Fe^{+2} akan teroksidasi

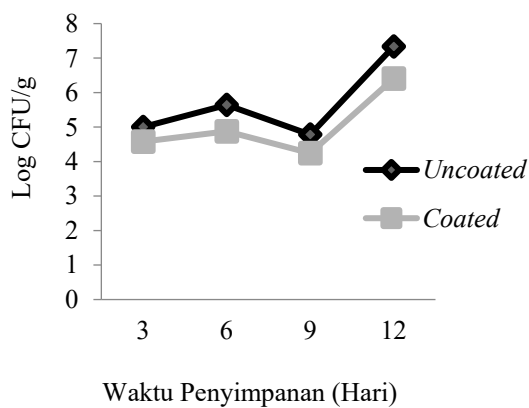
menjadi Fe^{+3} dan membentuk warna kecoklatan.

Pada daging sapi dengan perlakuan *coating* pada hari ke-3 hingga hari ke-12 menunjukkan hasil tidak signifikan. Daging dengan perlakuan *coating* diketahui hanya mengalami perubahan warna coklat dibagian permukaan, tetapi pada bagian dalam daging masih berwarna merah.

Sifat dari *edible coating* yang mampu mencegah difusi gas oksigen, CO_2 , uap air dan komponen flavor menunjukkan kemampuannya dalam mempertahankan warna daging sapi sehingga dapat melindungi daging dari proses oksidasi. Adanya penambahan ekstrak daun jati merah sebagai antioksidan dan antibakteri juga berperan untuk mencegah daging mengalami oksidasi dan penurunan warna (Kia, *et al.*, 2023)

Total Plate Count

Pada Gambar 6 dapat dilihat hasil total jumlah bakteri yang diperoleh pada waktu penyimpanan 3, 6, 9, dan 12 hari pada daging yang diberi perlakuan *coating* dan tanpa perlakuan *coating*.



Gambar 6. Pengaruh perlakuan *edible coating* dan waktu penyimpanan terhadap *total plate count* (TPC) daging sapi

Pengaruh lama penyimpanan daging sapi dengan maupun tanpa perlakuan *coating* terhadap *Total Plate Count* (TPC) menunjukkan hasil yang berbeda. Jumlah bakteri yang dihasilkan pada daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* menunjukkan hasil yang fluktuatif. Pertumbuhan bakteri dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti populasi awal bakteri, kadar air, aw, nutrient yang terkandung pada daging, senyawa antibakteri yang ditambahkan, nilai pH dan suhu lingkungan (Rachmawaty, D. dan Arisanty, 2021). Adanya penurunan jumlah bakteri pada hari ke-9 dapat disebabkan oleh adanya penurunan pH yang menyebabkan pertumbuhan bakteri menjadi terhambat.

Berdasarkan SNI 3932:2008 batas maksimum cemaran mikroba (BMCM) untuk TPC yaitu 1×10^6 CFU/g. Hasil TPC

yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan jumlah mikroba masih dalam BMCM untuk daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating*, dengan lama penyimpanan hingga hari ke-12. Pada penyimpanan hari ke-12 daging sapi tanpa perlakuan telah melewati BMCM dengan jumlah mikroba $2,16 \times 10^7$ CFU/g yang menandakan daging telah masuk tahap pembusukan (Pazra, D. F. dan Wahyuningsih, 2024), sedangkan pada daging sapi dengan perlakuan *coating* masih dalam BMCM.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan ekstrak etanol daun jati Merah mampu menghambat bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* lebih baik daripada ekstrak etanol daun jati Cina dan ekstrak etanol daun jati Belanda pada konsentrasi 3%. Berdasarkan kemampuannya menghambat bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* diperoleh hasil ekstrak terpilih yaitu ekstrak etanol daun jati Merah dengan konsentrasi 3% dengan rata-rata zona hambat secara berturut-turut adalah $14,85 \pm 0,05$ mm dan $12,93 \pm 0,55$ mm.

Hasil pengujian terhadap daging sapi dengan atau tanpa *edible coating* dan waktu penyimpanan pada suhu *chilling* (*refrigerator*) selama 3, 6, 9, 12 hari

terhadap parameter pH, warna dan TPC yaitu; pada parameter nilai pH hari ke-12 daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* daging mulai memasuki tahap kerusakan. Pada parameter warna daging dengan perlakuan *edible coating* pada hari ke-9 dan ke-12 masih dapat mempertahankan pigmen warna Merah (myoglobin), sedangkan daging tanpa perlakuan *coating* telah berubah warna menjadi coklat-keabuan (metmyoglobin) yang menunjukkan daging telah mengalami kerusakan. Pada parameter TPC jumlah mikroba daging sapi dengan atau tanpa perlakuan *coating* pada hari ke-12 menunjukkan jumlah mikroba yang telah melewati BMCM (1×10^6 CFU/g) berdasarkan SNI 3932:2008.

Aplikasi *edible coating* dengan penambahan ekstrak etanol daun jati Merah mampu mempertahankan mutu daging sapi hingga hari ke-9 pada suhu *chilling* (*refrigerator*).

DAFTAR PUSTAKA

- Aberle, E. D., Merkel, R. A., Judge, M. D., Hedrick, H. B., Mills, E. W., Gerrard, D. E., & Forrest, J. C. (2001). *Principles of meat science* (4th ed.). Kendall Hunt.
- Alifia, K. Y., Sarjana, T. A., & Muryani, R. (2020). Signifikasi Kualitas daging ayam broiler SIAP Konsumsi Berdasarkan Pada pengaturan setting zona produksi di Dalam Panjang closed House Berbeda Di Musim Kemarau. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.17728/jatp.5127>
- Angel, V. (2019). *Karakterisasi ekstrak kulit melinjo (Gnetum gnemon L.) merah sebagai antibakteri* [Unpublished bachelor's thesis]. Universitas Pelita Harapan.
- ASTM. (1995) "Standard Text Method for Water Vapor Transmission of Material." ASTM Book of Standard
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Mutu karkas dan daging sapi* (SNI 3932:2008)
- Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (2009). *Edible film and coating for food applications*. Springer.
- Esther, F. (2017). *Karakteristik Senyawa Antibakteri Ekstrak Daun Jati (Tectona grandis L.)*. [Unpublished bachelor's thesis]. Universitas Pelita Harapan
- Johannes, E., Tuwo, M., Katappanan, N., Henra, H., & Wirianti, G. (2022). Edible coating berbasis pati ubi kayu manihot esculenta Crantz Dan Jahe Merah Zingiber officinale var. Rubrum Memperpanjang Umur Simpan Buah tomat solanum lycopersicum L. *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 12(2), 204–218. <https://doi.org/10.24843/ajoas.2022.v12.i02.p03>
- Kia, Kristoforus. W., Fobia, K. G., & Pardosi, L. (2023). Kualitas Mikrobiologi daging se'i SAPI melalui metode curing menggunakan Ekstrak Daun Jati (Tectona grandis l.f.) Pada Penyimpanan Suhu Ruang. *Pro-Life*, 10(2), 791–803. <https://doi.org/10.33541/pro-life.v10i2.4723>
- Liur, I. J., Souhoka, D. F., & Papilaya, B. J. (2022). Analisis kadar air Dan Kualitas Fisik daging Sapi Yang dijual di pasar tradisional kota ambon. *Agrinimal Jurnal Ilmu Ternak Dan Tanaman*,

- 10(1), 45–50.
<https://doi.org/10.30598/ajitt.2022.10.1.45-50>
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in Meat Color. *Meat Science*, 71(1), 100–121.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Senturk Parreidt, T., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for Food Packaging Applications. *Foods*, 7(10), 170.
<https://doi.org/10.3390/foods7100170>
- Pazra, D. F. (2024). Evaluasi Kualitas Fisik Dan Mikrobiologi daging Sapi Yang dijual Pada Pasar tradisional Dan supermarket di Kecamatan Caringin, Kabupaten Bogor. *VITEK: Bidang Kedokteran Hewan*, 14(2), 220–228.
<https://doi.org/10.30742/jv.v14i2.299>
- Rachmawaty, D., & Arisanty, A. (2021). Pemanfaatan Perasan Buah belimbing WULUH (Averrhoabilimbil.) Sebagai Pengawet Alami Pada daging SAPI segar. *Media Farmasi*, 17(1), 31.
<https://doi.org/10.32382/mf.v17i1.1971>
- Ramadhani, P. D., Supriyadi, S., Hendrasty, H. K., Laksana, E. M., & Santoso, U. (2023). Karakteristik edible film Aktif Berbasis kitosan Dengan Penambahan Ekstrak Daun Jati. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 34(1), 1–12.
<https://doi.org/10.6066/jtip.2023.34.1.1>
- Trisia, A., Philyria, R., & Toemon, A. N. (2018). Uji Aktivitas antibakteri EKSTRAK Etanol Daun Kalanduyung (Guazuma ulmifolia LAM.) Terhadap pertumbuhan staphylococcus aureus dengan metode DIFUSI cakram (Kirby-Bauer). *Anterior Jurnal*, 17(2), 136–143.
<https://doi.org/10.33084/anterior.v17i2.12>
- Ulum, M., Mu'tamar, M. F., & Asfan, A. (2018). Karakteristik edible film Hasil Kombinasi pati Biji Alpukat (Persea Americana Mill.) Dan Pati Jagung (amilum maydis). *Rekayasa*, 11(2), 132–145.
<https://doi.org/10.21107/rekayasa.v11i2.4419>
- Wahyuni, S., Patang, P., & Putra, R. P. (2023). Kajian Minimum Inhibitor Concentration (MIC) Dan Minimum bactericidal concentration (MBC) Ekstrak kulit terong ungu (solanum melongena L) sebagai pengembangan antibakteri herbal. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 9(2), 249–262.
<https://doi.org/10.26858/jptp.v9i2.686>

Pemanfaatan Tepung Labu Kuning (*Cucurbita Moschata* Duchesne) sebagai Substituen Tepung Beras pada Pembuatan *Baby Puff*

[Utilization of Pumpkin Flour (*Cucurbita Moschata* Duchesne) as A Constituent of Rice Flour in Making *Baby Puff*]

Melanie Cornelia^{1*)}, Heidi Maulani²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknologi Pangan Universitas Pelita Harapan

*Korespondensi penulis: melanie.cornelia@uph.edu

ABSTRACT

Pumpkin was one of Indonesian agricultural product and known as a good source of carotenoids such as β -carotene. β -carotene was one of vitamin A precursor for human body and good for children's growth. In this research pumpkin flour was made using two methods, soaking pumpkin flesh in 0.25% sodium metabisulfite solution for 10 minutes and without soaking as a control, drained, dried at 60 C in cabinet dryer, mashed using a dry blender and sieved using a 60 mesh tyler sieve. This treatment can preserve β -carotene value during heating process. The objective of this research was to determine the best method of producing pumpkin flour and to study its physical characteristic, β -carotene, dietary fiber, hardness, color and proximate analysis of chosen baby puff using pumpkin flour as its substitute. The result show that the best method of pumpkin flour was soaking in sodium metabisulfite solution 0,25%. The best pumpkin flour has characteristic 35,24 μ g/g of β -carotene, 4,62% dietary fiber, 66,7° hue, 407,67% water holding capacity, and 0,63 gr/ml density. The best baby puff formulation based on physical, chemical analysis and organoleptic score was 5 % pumpkin flour substitution. It contains 24,6 μ g/g of β -carotene, 5,12% dietary fiber, 79,86° hue and 493,00g hardness. The highest amount of β -carotene was found in baby puff with 20% pumpkin flour substitution

Keywords: β -carotene, baby puff, pumpkin flour, sodium metabisulfite, substitution

ABSTRAK

Labu kuning merupakan hasil pertanian Indonesia yang dikenal sebagai sumber zat gizi berupa β -karoten. β -karoten adalah salah satu prekursor vitamin A bagi tubuh manusia dan baik untuk pertumbuhan anak. Pada penelitian ini, tepung labu kuning dibuat dengan dua metode, yaitu perlakuan perendaman daging labu kuning dalam larutan natrium metabisulfit 0,25% selama 10 menit dan tanpa perendaman sebagai kontrol, ditiriskan, dikeringkan dalam *cabinet dryer* 60°C, dihaluskan menggunakan blender kering dan diayak menggunakan ayakan *tyler 60 mesh*. . Perlakuan ini dapat mempertahankan nilai β -karoten selama proses pemanasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan metode terbaik yaitu perendaman pada pembuatan tepung labu kuning berdasarkan sifat fisik, β -karoten, dan analisis proksimat tepung labu kuning terpilih dilihat dari β -karoten, serat pangan, kekerasan dan warna tepung labu kuning dan menggunakan tepung labu kuning sebagai substitusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pembuatan tepung labu kuning terbaik adalah perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25%. Tepung labu kuning terbaik mempunyai data analisis β -karoten 35,24 μ g/g, serat pangan 4,62%, daya ikat air 407,67%, dan berat jenis 0,63 gr/ml. Formulasi *baby puff* terbaik berdasarkan analisis fisik dan kimia serta skor organoleptik adalah substitusi tepung labu kuning 5%. Kandungan β -karotennya 24,6 μ g/g, serat pangan 5,12%, kekerasan 493,00 g. Kandungan β -karoten tertinggi terdapat pada *baby puff* dengan substitusi tepung labu kuning 20%

Kata kunci: β -karoten, *baby puff*, tepung labu kuning, natrium metabisulfit, substituen

PENDAHULUAN

Gizi yang baik merupakan landasan bagi setiap individu untuk mencapai potensi maksimal yang dimilikinya. Pada proses tumbuh kembang manusia, 1000 hari pertama kehidupan merupakan masa keemasan pertumbuhan. Saat ini Kementerian Kesehatan sedang memprioritaskan pembangunan kesehatan dengan cara perbaikan gizi dan fokus pada 1000 hari pertama kehidupan untuk menurunkan jumlah penderita *stunting*. *Stunting* adalah masalah kurang gizi kronis yang disebabkan oleh asupan gizi kurang dalam waktu cukup lama akibat pemberian makanan yang tidak sesuai dengan kebutuhan gizi. Di beberapa negara berkembang termasuk Indonesia terdapat empat masalah utama penyebab terhambatnya perkembangan gizi yaitu kekurangan protein, Kekurangan Energi Protein (KEP), Kekurangan Vitamin A (KVA), kekurangan iodium (GAKY), dan Anemia Gizi Besi (AGB) (Ditjen Bina Kesehatan Masyarakat, 2010).

Salah satu hasil perkebunan yang saat ini sedang menjadi perhatian di Indonesia adalah potensi produksi tanaman labu kuning. Labu kuning atau di Indonesia biasa disebut dengan waluh atau labu parang. Labu kuning merupakan tanaman yang produktif, mudah tumbuh dan tidak membutuhkan perawatan yang rumit. Jika pertumbuhannya

baik, tanaman ini mampu menghasilkan 20-40 ton per hektar lahan (Suprpti, 2005). Labu kuning yang umum dikonsumsi di Indonesia adalah dari jenis *Cucurbita moschata*. Meskipun produksi labu kuning dapat dikatakan cukup besar namun belum dimanfaatkan secara optimal. Selama ini labu kuning hanya dimanfaatkan secara sederhana dengan dikonsumsi dalam bentuk buah utuh. Hal ini cukup disayangkan dikarenakan labu kuning memiliki kandungan gizi yang dibutuhkan untuk tubuh. Buah labu kuning mengandung β -karoten yang cukup tinggi yaitu 1800 IU atau 2100 mg setiap 100 gram buah segar. B-karoten yang merupakan provitamin A bagi tubuh. β -karoten yang dikonsumsi oleh tubuh akan dipecah oleh enzim beta-karoten dioksigenase menjadi retinol apabila tubuh kekurangan vitamin A (Astawan, 2006).

Baby puff merupakan salah satu Makanan Pengganti Air Susu Ibu (MP-ASI) yang digemari untuk diberikan sebagai *snack* pada bayi karena tekstur dan ukurannya dapat membantu bayi melatih gerakan motorik tangan untuk belajar menggenggam dan melatih gusi untuk belajar mengunyah. Bahan baku *baby puff* yang terbuat dari tepung beras merupakan salah satu upaya diversifikasi produk pangan. Tepung beras dipilih sebagai bahan baku karena kemampuannya untuk mengembang dengan densitas yang rendah dan memiliki tekstur

yang renyah (NPCS, 2012). Pemanfaatan labu kuning dalam bentuk tepung dapat menjadi solusi untuk menambahkan nilai gizi ke dalam produk *baby puff*. *Baby puff* yang berbahan baku tepung beras dan tepung labu kuning ini dapat menjadi alternatif *snack* sehat bagi bayi dan balita. Hal ini disebabkan produk berbahan dasar tepung beras memiliki potensi alergi yang rendah terhadap anak-anak (Signes-Pastor *et al*, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat tepung labu kuning menggunakan dua metode yaitu perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25% dan tanpa perendaman, memanfaatkan labu kuning dalam bentuk tepung sebagai bahan pensubstitusi tepung beras yaitu sumber serat dan vitamin A, dan mengetahui konsentrasi tepung labu kuning terbaik yang diterima oleh panelis secara organoleptik.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung beras “Rose Brand”, buah labu kuning jenis (*Cucurbita moschata* Duchesne) yang sudah matang/kuning, telur ayam, margarin, dan dalam kemasan air minum. Bahan yang digunakan untuk analisis adalah Natrium Bisulfit, H_2SO_4 , NaOH, indikator pp, indikator pati, alkohol, heksana, larutan asam borat, larutan H_2O_2 , *mixed indicator* dan larutan HCl. Alat yang digunakan dalam

penelitian ini adalah oven, alat volumetrik, dry blender, blender kering, mixer, *heater*, *furnace*, timbangan, desikator, *texture analyzer*, ayakan *tyler*, *cabinet dryer*, alat destilasi *Kjehdahl*, alat ekstraksi lemak, *reflux*, dan spektrofotometer Uv-Vis.

Metode Penelitian

Penelitian terbagi menjadi dua tahap yaitu tahap pendahuluan dan tahap utama. Pada tahap pendahuluan dilakukan pembuatan tepung labu kuning dengan dua metode yaitu perendaman pada larutan natrium metabisulfit 0,25% dan tanpa perendaman sebagai kontrol. Parameter yang diamati berupa rendemen, total karotenoid, daya serap air, densitas kamba, dan proksimat.

Tahap utama adalah pembuatan *baby puff* dengan mensubstitusi tepung beras dengan tepung labu kuning dengan konsentrasi tepung labu kuning 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dan diuji secara organoleptik skoring dan hedonik kepada 30 orang panelis semi terlatih.

Penelitian Pendahuluan

Pembuatan Tepung Labu Kuning

Pembuatan tepung labu kuning sesuai penelitian Purwanto *et al* (2013). Labu dibelah dan dikupas kulitnya, dipisahkan dari biji, dan kulit labu kuning. Daging labu dicuci, dikecilkan ukurannya dengan ketebalan 2 mm, kemudian labu kuning

dipisahkan sesuai perlakuan yaitu tanpa perendaman dan perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25% selama 10 menit, ditiriskan, dikeringkan dalam *cabinet dryer* 60°C, dihaluskan menggunakan *dry blender* dan diayak menggunakan ayakan *tyler* 60 *mesh*.

Penelitian Utama

Pembuatan *Baby puff*

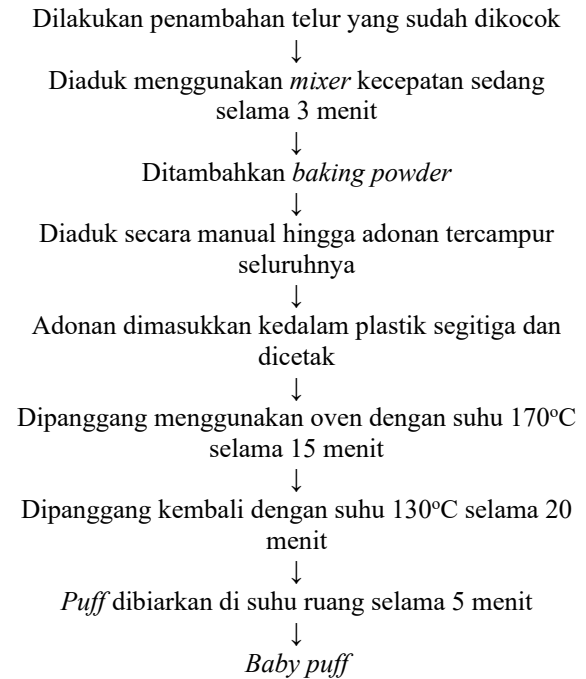
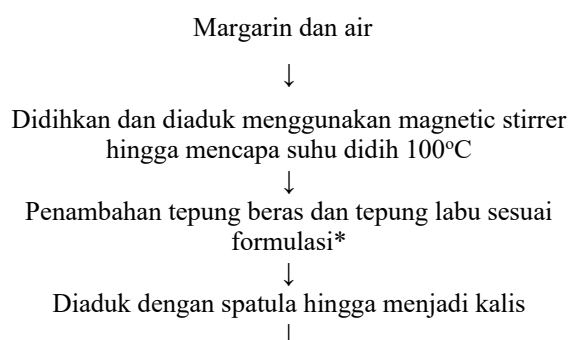
Pada tahap ini *baby puff* dibuat menggunakan tepung beras yang disubstitusi sesuai formulasi dengan tepung labu kuning kuning sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Bahan-bahan lainnya adalah margarin, telur, air, dan *baking powder*.

Tabel 1 Formulasi Pembuatan *Baby puff*

Komponen	Formula A	Formula B	Formula C	Formula D	Formula E
Tepung Beras (g)	50	47,5	45	42,5	40
Tepung Labu Kuning (g)	0	2,5	5	7,5	10
Margarin (g)	40	40	40	40	40
Telur (g)	60	60	60	60	60
Baking Powder(g)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Air (ml)	100	100	100	100	100

Sumber: Modifikasi Layla (2005)

Diagram alir pembuatan *baby puff* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar1. Diagram alir pembuatan *baby puff*

Sumber: Modifikasi Layla, 2015

Keterangan: (*) Konsentrasi tepung labu kuning 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%

Produk *baby puff* akan dianalisis untuk mengetahui total karotenoid, tekstur kekerasan, warna dan uji organoleptik skoring dan hedonik kepada 30 orang panelis. Produk *baby puff* dengan substitusi tepung labu kuning terbaik diuji lanjut menggunakan analisis proksimat dan serat pangan.

Kadar β -karoten

Penentuan kadar β -karoten dengan menggunakan metode spektrofotometri berdasarkan (Dauqan *et.al*, 2010) dengan modifikasi. Sampel sebanyak 1 gram diekstrak dalam 10 mL heksana, disentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Ekstraksi dilakukan hingga sampel tidak bewarna. Ekstrak diukur total karotenoidnya dengan spektrofotometer Uv-Vis pada

gelombang 444 nm. Total karotenoid dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar } \beta\text{-Karoten } (\mu\text{g/g}) = \frac{A.V.383}{W.100}$$

Keterangan:

A : Absorbansi

V : Volume Pengenceran

383 : Koefisien absorptivitas β -karoten dalam heksana

W : Berat sampel (g)

Serat Pangan (AOAC, 2005)

Sebanyak 1 gram sampel yang telah dihilangkan lemaknya dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer. Buffer natrium fosfat 0.1 M pH 6 sebanyak 25 ml ditambahkan ke dalam labu Erlenmeyer dan kemudian diaduk. Sebanyak 0.1 ml termamyl ditambahkan ke dalam sampel. Labu erlenmeyer selanjutnya ditutup dengan alumunium foil dan diinkubasi pada suhu 100°C selama 15 menit. Sampel kemudian didinginkan sembari ditambahkan 20 ml akuades dan dilanjutkan dengan penambahan HCl 4 M sampai pH 1.5. sampel kemudian ditambahkan lagi dengan 100 mg pepsin. Labu Erlenmeyer ditutup kembali, diinkubasi pada suhu 40°C sembari diaduk selama 60 menit. Sebanyak 20 ml akuades ditambahkan ke dalam sampel dan pH diatur hingga mencapai 6.8 (dilakukan dengan penambahan NaOH). Enzim protease sebanyak 100 mg juga ditambahkan ke dalam sampel. Labu erlemeyer ditutup kembali, diinkubasi pada suhu 40°C sembari diaduk selama 40 menit. pH sampel kemudian diatur

hingga mencapai 4.5 dengan penambahan HCl. Sampel selanjutnya difilter dengan menggunakan kertas saring yang beratnya telah diukur. Endapan yang terdapat pada kertas saring diambil dan dicuci dengan 10 ml akuades 2 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

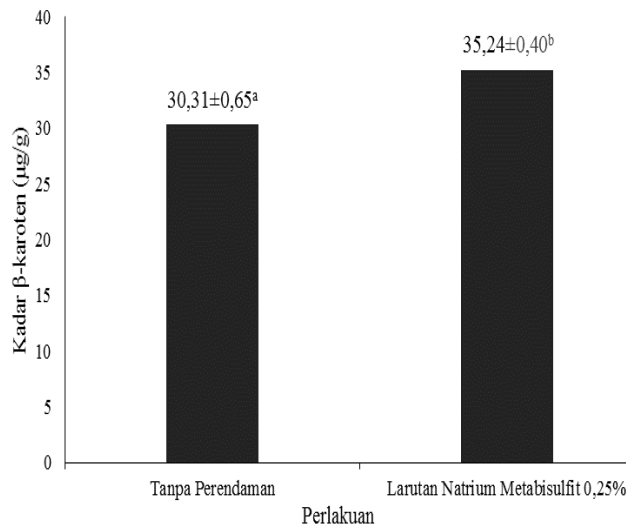
Penelitian Pendahuluan

Analisis Kadar β -karoten dan Aktivitas Vitamin A Tepung Labu Kuning

Pada Gambar 2 dapat dilihat β -karoten dari dua perlakuan tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dapat dilihat bahwa total karotenoid dari tepung labu kuning yang sebelumnya direndam dalam larutan natrium metabisulfit 0,25% selama 10 menit lebih tinggi dibanding dengan tepung labu kuning kontrol. Ini sesuai dengan fungsi natrium metabisulfit memperlambat reaksi oksidasi karena pigmen karoten merupakan salah satu pigmen yang mudah teroksidasi terutama oleh panas (Purwanto *et al*, 2013).

Berdasarkan nilai konversi yang ditetapkan FAO (2001) tepung labu kuning tanpa perendaman memiliki aktivitas vitamin A sebesar 5,06 $\mu\text{g RE}$ dan tepung labu kuning yang dibuat dengan perendaman pada larutan natrium metabisulfit 0,25% memiliki aktivitas vitamin A sebesar 5,88 $\mu\text{g RE}$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai aktivitas vitamin A tepung labu kuning yang

dilakukan perendaman lebih tinggi dibanding tepung labu kuning kontrol.



Gambar 2. Kadar β-karoten Tepung Labu Kuning
Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$)

Analisis Proksimat Tepung Labu Kuning

Hasil analisis proksimat tepung labu kuning dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Proksimat Tepung labu Kuning

Komponen (%)	Kontrol (tanpa perendaman)	Perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25%
Kadar Air	12,18±0,71 ^a	12,18±1,43 ^a
Kadar Abu	4,82±0,05 ^a	4,97±0,09 ^a
Kadar lemak	8,22±0,74 ^a	7,16±1,80 ^a
Kadar protein	15,86±0,16 ^a	21,57±0,63 ^b
Kadar karbohidrat	58,93±0,65 ^b	54,12±2,03 ^a

Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$)

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2 nilai kadar air, kadar abu, dan kadar lemak kedua metode tidak berbeda signifikan.

Namun kedua metode memiliki nilai kadar protein dan karbohidrat yang berbeda signifikan. Protein terekstraksi saat perendaman dengan Na-bisulfit sehingga lebih tinggi nilainya.

Serat Pangan Tepung Labu Kuning

Analisis serat pangan terhadap kedua tepung labu kuning tepung labu kuning, kontrol memiliki kandungan serat pangan sebesar 2,83% dan tepung labu kuning dengan perendaman pada larutan natrium metabisulfit 0,25% memiliki kadar serat pangan lebih tinggi yaitu 4,46%.

Karakteristik Fisik Tepung Labu Kuning

Karakteristik fisik yang diuji pada tepung labu kuning meliputi derajat warna, daya serap air, dan densitas kamba. Tepung labu kuning terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini, diperoleh melalui perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25%. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa penggunaan larutan natrium metabisulfit memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik fisik tepung.

Tabel 3. Karakteristik Fisik Tepung Labu Kuning

Karakteristik	Kontrol	Perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25%
Daya serap air(%)	435,62±1,29 ^b	407,62±7,32 ^a
Warna (°Hue)	63,85±0,36 ^b	66,22±0,36 ^b
Densitas kamba(g/ml)	0,59±0,003 ^a	0,63±0,001 ^b

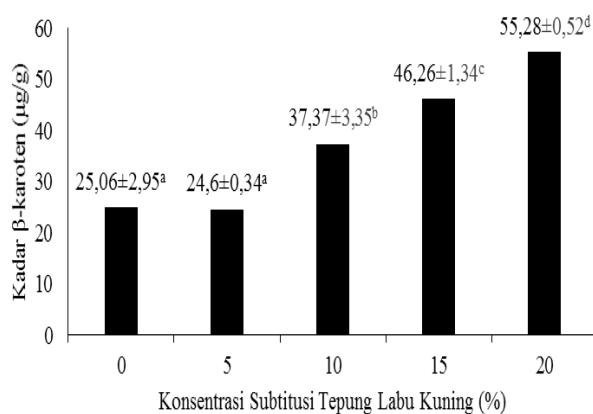
Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$)

Pada Tabel 3 dapat dilihat diketahui bahwa nilai hue yang dimiliki tepung labu kuning berkisar $56,92^{\circ}$ - $66,22^{\circ}$ menunjukkan kisaran warna jingga (54° - 90°) (Purwanto *et.al*, 2013). Nilai hue ini lebih tinggi dibandingkan dengan tepung labu kuning kontrol. Hal ini disebabkan fungsi sulfit yang dapat mencegah reaksi pencoklatan akibat enzim polifenoloksidase yang menyebabkan warna coklat pada daging labu (Wardhani *et Al.*, 2016).

Penelitian Utama

Kadar β -karoten dan Aktivitas Vitamin A *Baby puff*

Pada Gambar 3 dapat dilihat kadar β -karoten *baby puff* yang dibuat dengan mensubstitusi tepung beras dengan tepung labu kuning.



Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda

Gambar 3. Kadar Total Karotenoid *Baby puff* pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$)

Selain analisis β -karoten *baby puff* juga dilakukan analisis aktivitas vitamin A berdasarkan angka konversi β -karoten yang telah ditetapkan FAO. Makin banyaknya %

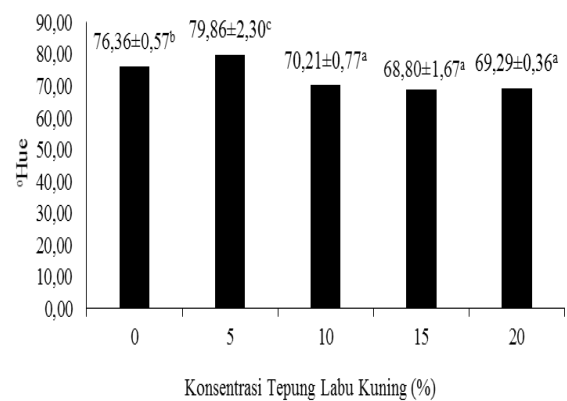
substituen tepung labu kuning, makin besarnya aktivitas Vit A *Baby Puff*

Tabel 2 Aktivitas Vitamin A *Baby Puff*

Konsentrasi Tepung Labu Kuning	Aktivitas Vitamin A ($\mu\text{g RE}$)
0%	4,13 ^a
5%	4,11 ^a
10%	6,24 ^b
15%	7,73 ^c
20%	9,23 ^d

Warna

Warna merupakan salah satu parameter fisik penting yang akan memengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk pangan yang dihasilkan. Pada Gambar 4 dapat dilihat adanya perbedaan nilai warna yang telah dikonversikan dalam nilai hue. Hue merupakan parameter yang digunakan untuk menyatakan derajat warna. Spesifikasi hue dinyatakan dengan spektrum 0° - 360° .



Gambar 4. Derajat Warna *Baby puff*

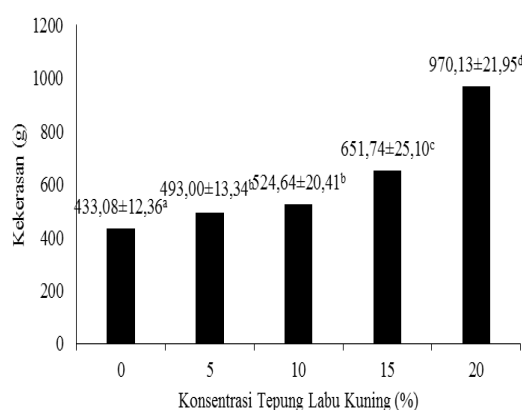
Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$)

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai °hue yang dimiliki oleh kelima formulasi berkisar dari $68,80^{\circ}$ – $79,86^{\circ}$ yang menyatakan bahwa *baby puff* yang dihasilkan memiliki warna kekuningan. Nilai °hue yang

paling besar *baby puff* dengan konsentrasi tepung labu kuning sebesar 5% sedangkan paling rendah *baby puff* dengan konsentrasi tepung labu kuning sebesar 15%.

Kekerasan

Kekerasan suatu bahan pangan merupakan faktor penting dalam menilai mutu bahan pangan terutama untuk pangan khusus bayi. Hal ini disebabkan gigi bayi belum tumbuh sempurna dan gusi belum kuat sehingga belum dapat menguyah makanan yang terlalu keras. Hasil analisis kekerasan pada *Baby puff* dapat dilihat pada Gambar 5. diukur menggunakan *texture analyzer*. *Baby puff* yang memiliki kekerasan paling tinggi adalah *baby puff* dengan konsentrasi tepung labu kuning 20 % hal ini dapat disebabkan tingginya konsentrasi tepung labu kuning sehingga tekstur *baby puff* menjadi lebih keras dan *baby puff* dengan tingkat kekerasan paling rendah adalah *naby puff* tanpa penambahan tepung labu kuning.



Gambar 5. Tingkat Kekerasan Baby puff

Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p<0,05$).

Analisis Organoleptik

Uji organoleptik dilakukan secara skoring dan hedonik kepada 30 orang panelis yang terdiri atas ibu yang pernah atau sedang memiliki bayi.

Uji Skoring

Tabel 4. Hasil Uji Skoring

Parameter	Konsentrasi Tepung Labu Kuning				
	0%	5%	10%	15%	20%
Kekerasan	4,9±0,84 ^d	3,97±1,09 ^c	3,23±1,38 ^b	4,1±1,12 ^c	2,2±1,19 ^a
Kelengkapan	3,97±1,38 ^a	4,8±0,91 ^b	4,17±1,34 ^{ab}	4,24±1,25 ^{ab}	4,3±1,49 ^{ab}
Warna	4,00±1,33 ^b	4,30±1,29 ^b	1,73±0,83 ^a	2,00±0,91 ^a	1,87±0,78 ^a
Rasa	4,43±1,14 ^b	4,70±1,12 ^b	3,07±1,28 ^a	3,50±1,39 ^a	2,90±1,35 ^a
Aroma	4,5±1,16 ^b	4,37±1,33 ^b	3,53±1,04 ^a	3,52±1,36 ^a	3,30±1,29 ^a

Pada parameter rasa dan warna dapat dilihat bahwa nilai skoring konsentrasi tepung 5% memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan empat formulasi lainnya, sedangkan pada kekerasan nilainya tidak lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 0% dan 15%.

Uji Hedonik

Nilai untuk ketiga parameter utama yaitu kekerasan, warna, dan rasa, *baby puff* dengan konsentrasi 5% memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Pada uji hedonik ditambahkan parameter lain yaitu keseluruhan dengan konsentrasi 5%.

Tabel 3. Hasil Uji Hedonik *Baby puff*

Parameter	Konsentrasi Tepung Labu Kuning				
	0%	5%	10%	15%	20%

Aroma	5,33±1,03 ^b	5,53±1,20 ^b	4,17±1,21 ^a	4,33±1,45 ^a	4,30±1,53 ^a
Kekerasan	5,5±0,94 ^c	5,87±0,73 ^c	3,5±1,33 ^a	4,93±1,31 ^b	3,00±0,98 ^a
Rasa	5,70±1,2 ^b	5,77±0,86 ^b	3,90±1,32 ^a	4,07±1,36 ^a	3,57±1,65 ^a
Warna	5,20±1,24 ^b	5,60±0,81 ^b	3,27±1,68 ^a	3,60±1,96 ^a	3,37±1,33 ^a
Kelengkapan	4,37±1,50 ^a	4,93±1,44 ^a	4,63±1,30 ^a	4,53±1,41 ^a	4,27±1,26 ^a
Keseluruhan	5,83±0,87 ^b	5,97±1,33 ^b	3,97±0,67 ^a	4,37±0,96 ^b	3,87±1,22 ^a

Analisis Proksimat *Baby puff* Terbaik

Tabel 6. Kadar Proksimat *Baby puff* Terbaik

Komponen (%)	<i>Baby puff</i> Terbaik	<i>Baby puff</i> Standar
Kadar Air	14,85±1,72	3,62
Kadar Abu	2,54±1,20	-
Kadar Lemak	17,44 ±1,59	2,30
Kadar Protein	20,09±2,84	6,19
Kadar Karbohidrat	44,95±1,19	85,79

Keterangan: notasi huruf superscript yang berbeda pada diagram batang menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$).

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa *baby puff* terbaik memiliki kadar karbohidrat sebesar 44,95%. Kadar lemak dan protein yang tinggi pada *baby puff* yaitu 17,44% dan 20,09% diduga disebabkan oleh bahan baku pembuatan *baby puff* yang mengandung telur dan margarin yang tinggi lemak dan protein.

Serat Pangan *Baby puff*

Formulasi *baby puff* terbaik yaitu dengan konsentrasi substitusi tepung labu kuning sebesar 5% memiliki kadar serat pangan sebesar 5,12% sedangkan *baby puff* standar menurut USDA memiliki kadar serat pangan sebesar 3,8%.

KESIMPULAN

Tepung labu kuning terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini, diperoleh melalui perendaman dengan larutan natrium metabisulfit 0,25%. Berdasarkan hasil analisis tepung labu kuning memiliki kadar β -karoten sebesar 35,24 $\mu\text{g/g}$ dan aktivitas vitamin A sebesar 5,88 $\mu\text{g RE}$ dan kadar serat pangan sebesar 4,46%. Selain itu, tepung labu kuning terbaik memiliki daya serap air sebesar 407,67%, densitas kamba sebesar 0,63 gr/ml, dan hue sebesar 66,22°.

Pada penelitian ini *baby puff* dengan konsentrasi 5% dan 10% dapat dipilih sebagai *baby puff* terbaik, akan tetapi dengan mempertimbangkan penerimaan panelis maka *baby puff* terbaik adalah *baby puff* dengan konsentrasi tepung labu kuning 5%. *Baby puff* terbaik di dalam penelitian ini memiliki kadar air 14,85%, kadar abu 2,54%, lemak 17,44%, protein 20,09%, karbohidrat 44,95%, kadar β -karoten 24,6 $\mu\text{g/g}$ dengan aktivitas vitamin A sebesar 4,11 $\mu\text{g RE}$ dan serat pangan sebesar 5,12%. Selain itu, *baby puff* terbaik memiliki nilai kekerasan sebesar 493,00 g dan °hue sebesar 79,86°.

DAFTAR PUSTAKA

- Astawan, Made. 2008. "Khasiat Warna-Warni Makanan". Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Dauqan, E., Sani, H.A., Abdullah, A. 2010. Vitamin E and Beta Carotene Composition in Four Different Vegetable Oils. American Journal of Applied Sciences 8(5).

- <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2011.407.412>
- Direktorat Jenderal Bina Kesehatan Masyarakat. 2010. "Rencana Aksi Pembinaan Gizi Masyarakat 2010-2014". Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- FAO. 2001. *Human Vitamin and Mineral Requirements*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. 2016. Tersedia di: <http://www.depkes.go.id/article/view/16032200004/menkes-gizi-baik-untuk-membangun-generasi-yang-tinggi-sehat-dan-berprestasi.html> diakses pada 20 Juli 2016.
- Layla, Noor. 2015. Pemanfaatan Tepung Kedelai Sebagai Bahan Substitusi Sus Kering Tepung Mocaf Dengan Variasi Penambahan Jahe. Skripsi, Universitas Muhamadiyah Surakarta, Solo.
- NPCS Board. 2012."Handbook on Fruits, Vegetable & Food Processing with Canning & Preservation", 3rd revised edition. Asia Pacific Business Press, Inc, New Delhi.
- Purwanto, C.C. Dwi. I., Dimas R. 2013. Kajian Sifat Fisik dan Kimia Tepung Labu Kuning (*Cucurbita maxima*) Dengan Perlakuan Blanching dan Perendaman Natrium Metabisulfit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Jurnal Teknosains Pangan 2(2). Universitas Sebelas Maret, Solo. <https://doi.org/10.20961/jtp.v2i2.4392>
- Signes-Pastor, Antonio J., Manus Carey, dan Andrew A. Meharg. 2014. "Inorganic Arsenic in Rice-based Products for Infants and Young Children." Food Chemistry 191: 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.078>
- Suprpti, Lies. 2005. Awetan Kering dan Dodol Waluh. Kanisius. Yogyakarta.
- Wardhani, D.H., Yuliana, A.E., Dewi A.S. 2016. Natrium Metabisulfit sebagai Anti-Browning Agent pada Pencoklatan Enzimatik Rebung Ori (*Bambusa Arundinacea*). Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan 5(4). Universitas Diponegoro, Semarang. <https://doi.org/10.17728/jatp.202.140>

PEMANFAATAN R UNTUK KOMPUTASI SIMBOLIK

[THE UTILIZATION OF R FOR SYMBOLIC COMPUTATION]

I Gusti Agung Anom Yudistira^{1*}

¹Departemen Statistika, Universitas Bina Nusantara, Jl. K H. Syahdan No. 9, Kelurahan Kemanggisan, Kecamatan Palmerah, Jakarta Barat 11480

*Korespondensi penulis: i.yudistira@binus.ac.id

ABSTRACT

One of the R packages for symbolic operations that is currently active and developing is Ryacas. This package is an interface between the yacas system and R, combining symbolic and numerical computation capabilities in one system. This study aims to explore and document R's capabilities in symbolic computation using Ryacas. There are three topics that will be discussed in this research, namely 1) precision of arithmetic calculations, 2) application to linear algebra, and 3) application of symbolic computation to solving Mathematics-Statistics cases. Ryacas is able to increase the precision of numerical calculations in simple arithmetic cases, and operations in linear algebra. The case of obtaining the probability distribution function and probability density function of a random variable U which is a function of a random variable Y , can be easily solved by Ryacas. The output of symbolic computation from this last case is further processed numerically by R in the form of a graphical appearance, with the ggplot2 package. Likewise, the simulation process is carried out to generate the values of the random variable U . These results illustrate the continuous process between symbolic and numerical computation in one system, in this case R.

Keywords : Numerical Methods; R Programming; Ryacas; Symbolic Computation; Yacas

ABSTRAK

Paket R untuk operasi simbolik yang saat ini aktif dan berkembang salah satunya adalah Ryacas. Paket ini merupakan antarmuka antara sistem yacas dan R, sehingga menggabungkan kemampuan komputasi simbolik dan numerik dalam satu sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mendokumentasikan kemampuan R dalam komputasi simbolik dengan menggunakan Ryacas. Ada tiga topik yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu 1) presisi perhitungan aritmatika, 2) penerapan pada aljabar linear, dan 3) penerapan komputasi simbolik pada pemecahan kasus Matematika-Statistik. Ryacas mampu meningkatkan presisi perhitungan numerik pada kasus aritmatika sederhana, dan operasi-operasi pada aljabar linear. Kasus mendapatkan fungsi sebaran peluang dan fungsi kepekatan peluang dari peubah acak U yang merupakan fungsi dari suatu peubah acak Y , dapat dengan mudah diselesaikan oleh Ryacas. Luaran komputasi simbolik dari kasus terakhir ini, diproses lebih lanjut secara numerik oleh R berupa penampilan grafik, dengan paket ggplot2. Demikian pula proses simulasi dilakukan untuk membangkitkan nilai-nilai peubah acak U . Hasil ini mengilustrasikan proses bersinambungan antara komputasi simbolik dan numerik dalam satu sistem, dalam hal ini R.

Kata kunci : Komputasi Simbolik; Metode Numerik; Pemrograman R; Ryacas; Yacas

PENDAHULUAN

Bahasa pemrograman R, Python dan Matlab adalah bahasa pemrograman yang ditujukan untuk komputasi numerik (Bloomfield, V. A. 2018). Sedangkan untuk tujuan komputasi simbolik biasanya menggunakan perangkat lunak Maple, Mathematica (Wolfram Alpha) dan lain-lain. Dalam beberapa tugas khususnya dalam bidang sains dan teknik, sering kali dibutuhkan gabungan kedua kemampuan tersebut secara bersama-sama, baik numerik maupun simbolik dalam satu perangkat lunak. Walaupun Mathematica dan Maple juga mempunyai kemampuan untuk komputasi numerik, tetapi kenyamanan dalam penggunaan untuk komputasi numerik tentu lebih baik R, python atau matlab, disamping itu Mathematica dan Maple juga bersifat komersial, sehingga membutuhkan investasi yang besar dalam memperoleh lisensinya. Matlab sebagai perangkat numerik juga hanya tersedia untuk versi komersial (berbayar). R dan Python sebagai perangkat sumber terbuka, tersedia secara gratis baik untuk tujuan penggunaan non komersial maupun tidak. R dibandingkan dengan Python memiliki kekuatan pada komputasi statistik dan graphics (Venable W.N. 2025). Sering kali peneliti membutuhkan komputasi simbolik ditengah-tengah pekerjaan yang melibatkan operasi-operasi numerik, sehingga

perlu berpindah ke Wolfram Alpha atau Maple. Hal ini tentu akan merepotkan. Adalah ideal bila kita bekerja dalam satu perangkat lunak baik untuk operasi numerik maupun simbolik. Apabila dalam pekerjaan tersebut lebih menitik beratkan pada komputasi simbolik sedangkan komputasi numerik hanya bersifat pendukung, maka Maple dan Mathematica merupakan pilihan yang tepat. Akan tetapi kalau pekerjaan penelitian lebih fokus pada komputasi numerik, sedangkan komputasi simbolik hanya sebagai pendukung maka R menjadi pilihan. Hanya saja R untuk komputasi simbolik belum banyak mendapatkan perhatian dari peneliti. Jadi penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mendokumentasikan kemampuan R dalam komputasi simbolik dengan menggunakan Ryacas.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Semua perintah R pada penelitian ini dijalankan menggunakan R versi 4.4.3 dengan GUI R Studio versi RStudio 2024.12.1+563 "Kousa Dogwood" Release (27771613951643d8987af2b2fb0c752081a3a853, 2025-02-02) for windows.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Eksperimen Komputasi, yang bertujuan: Mengeksplo-

rasi kemampuan R untuk melakukan komputasi simbolik dalam berbagai konteks matematika. Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Telaah pustaka untuk mendapatkan pemahaman yang lengkap terhadap pemrograman **Yacas** dan **Ryacas**.
- 2) Menentukan fungsi-fungsi simbolik yang akan diuji, khususnya untuk topik presisi numerik, aljabar linear, dan teori statistik.
- 3) Mengimplementasikan algoritma menggunakan paket-paket R, terutama Ryacas.
- 4) Membangun script R.
- 5) Memeriksa dan memvalidasi hasil-nya
- 6) Melakukan analisis hasil, termasuk keakuratan dan kecepatan pemrosesan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Yacas dan Paket Ryacas pada R

Ryacas merupakan salah satu paket yang disediakan R untuk komputasi simbolik. Paket ini pertama kali diterbitkan di CRAN pada tahun 2010 dengan versi awal adalah 0.2-10 (Mazur, G., 2025). Ryacas ini memungkinkan fungsi-fungsi Yacas (*Yet Another Computer Algebra System*) dapat dijalankan di R. Yacas adalah sistem aljabar komputer dan bahasa pemrograman serbaguna yang kecil dan sangat fleksibel, dan sama seperti R bersifat *open source* (non komersial). Program yacas ini dikembangkan oleh Ayal Pinkhuis

dkk (Andersen, M.M. and Søren Højsgaard, 2023). Paket Ryacas menyediakan dua antarmuka untuk Yacas, yaitu antarmuka *Low-level* dan *High-level*. Antarmuka *Low-level* memungkinkan pengguna untuk langsung menjalankan perintah Yacas dalam bentuk string teks. Hasilnya dapat berupa string atau ekspresi R. Fungsi-fungsi utama pada antarmuka ini adalah `yac_str()` dan `yac_expr()`. Antarmuka *High-level* lebih terintegrasi dengan R, menggunakan objek seperti matriks dan vektor. Fungsi utamanya adalah `ysym()` untuk mengonversi ekspresi menjadi simbol Yacas. Disamping Ryacas, sistem R juga menyediakan paket-paket lain yang ditujukan untuk komputasi simbolik, yaitu *calculus*, *caracas*, *Deriv*, *rSymPy* dan lain-lain dengan kelebihan dan kekurangannya. Tulisan ini difokuskan pada eksplorasi paket Ryacas, beserta penerapannya pada beberapa kasus dalam topik-topik *Mathematical-Statistics* (Teori Statistika). Disamping itu Ryacas merupakan paket yang aktif dan berkembang.

Presisi Perhitungan Aritmatika pada Operasi Numerik.

Kelemahan operasi numerik adalah munculnya galat akibat proses pembulatan dan/atau pemotongan. Pada setiap langkah operasi, luaran yang diberikan adalah nilai pendekatan. Akibat dari galat ini, luaran yang diberikan bisa menyimpang jauh.

Berikut ini adalah contoh operasi numerik R yang memberikan hasil yang keliru,

```
> (0.3 - 0.2) - 0.1
[1] -2.775558e-17
> (0.3 - 0.2) - 0.1 == 0
[1] FALSE
```

Biasanya untuk mengatasi hal itu, kita menggunakan nilai eksak pada operasi aritmatika, tetapi R (juga Python) dalam proses komputasinya akan merubahnya dalam nilai pendekatan. Seperti contoh di bawah ini

```
> (1/3 - 1/5) - 2/15
[1] -2.775558e-17
> (1/3 - 1/5) - 2/15 == 0
[1] FALSE
```

Nilai eksak $1/3$ akan diaproksimasi menjadi 0.3333333, pada nilai parameter digit default yaitu `options(digits=7)`. Nilai parameter digits terbesar yang bisa diakomodasi oleh R adalah 22, walaupun hasilnya sangat menyimpang. Seperti diperlihatkan di bawah ini.

```
> options(digits = 22)
> 1/3
[1] 0.3333333333333333148296
```

Kedua komputasi R tersebut, diperbaiki dengan komputasi simbolik oleh Ryacas sebagai berikut:

```
> library(Ryacas)
> ysym("(0.3 - 0.2) - 0.1") %>%
+   as_r() == 0
[1] TRUE

> ysym("(1/3 - 1/5) - 2/15 ") %>%
+   as_r() == 0
[1] TRUE
```

Walaupun bekerja dengan angka yang besar, hasil komputasi numerik pada R bisa

juga keliru. Misalnya kasus mencari sisa hasil bagi berikut ini,

```
> 52504222585724001 %% 10
[1] 0
```

Padahal sisa hasil bagi yang benar adalah 1. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai numerik yang presisi, semestinya dipertahankan tetap dalam bentuk simbolik pada proses komputasinya. Ryacas memberikan jalan keluar sebagai berikut,

```
> library(Ryacas)
> "Mod(52504222585724001, 10)" %>%
+   yac_expr() %>% eval()
[1] 1
```

Perintah yang sedikit berbeda bila kita menggunakan paket Ryacas0, tetapi hasilnya sama.

```
> library(Ryacas0)
> "Mod(52504222585724001, 10)" %>%
+   yacas() %>% as_r()
[1] 1
```

Oleh karena itu, untuk mendapatkan presisi tinggi dalam operasi aritmatika numerik, menggunakan Ryacas merupakan pilihan yang bijak. Luaran akhir dari proses komputasi ini, dikembalikan ke lingkungan sistem R.

Penerapan di Aljabar Linear

Kita akan membandingkan hasil yang diberikan oleh base R, untuk mendapatkan matrik kebalikan. Koding R base untuk mendapatkan matriks kebalikan adalah sebagai berikut:

- 1) Mendefinisikan matriks yang akan dicari kebalikannya.

```
> A <- matrix(c(1, 2, 3,
+               2, 5, 3,
+               1, 0, 8),
+             nrow = 3, byrow = TRUE)
> A
      [,1] [,2] [,3]
[1,]    1    2    3
[2,]    2    5    3
[3,]    1    0    8
```

2) Mendapatkan matriks kebalikan

```
> Ainv <- solve(A); Ainv
      [,1] [,2] [,3]
[1,]  -40   16    9
[2,]   13   -5   -3
[3,]    5   -2   -1
```

3) Memvalidasi hasil

```
> # matriks identitas 3x3
> Id <- diag(3); Id
      [,1] [,2] [,3]
[1,]    1    0    0
[2,]    0    1    0
[3,]    0    0    1
> # matriks A x A invers
> A %%% Ainv
      [,1]      [,2]      [,3]
[1,] 1.000000e+00 -1.776357e-15 -8.881784e-16
[2,] 3.552714e-15 1.000000e+00 -8.881784e-16
[3,] 0.000000e+00 0.000000e+00 1.000000e+00
> # validasi
> all(A %%% Ainv == Id)
[1] FALSE
```

Hasil validasi FALSE, artinya bahwa hasil penggandaan matriks A dengan A invers adalah bukan matriks identitas. Operasi yang sama akan dilakukan dengan komputasi simbolik, menggunakan paket Ryacas.

1) Mengonversi matriks A dalam bentuk simbolik

```
> library(Ryacas)
> B <- ysym(A); B
{{1, 2, 3},
 {2, 5, 3},
 {1, 0, 8}}
```

2) Mendapatkan matriks kebalikan

```
> Binv <- paste0("Inverse(", B,
+               ")") %>% yac_str()
```

```
> B * Binv
{{1, 0, 0},
 {0, 1, 0},
 {0, 0, 1}}
```

3) Memvalidasi hasil

```
> all((B * Binv) %>%
+     yac_expr() %>% eval() == Id)
[1] TRUE
```

Hasil validasi operasi matriks dengan menggunakan paket Ryacas adalah TRUE.

Mathematika-Statistika

Sistem R utamanya dibuat untuk mendukung analisis data dan statistika. R umumnya digunakan di kalangan akademisi dan mahasiswa yang mengambil subjek statistika. Sistem R yang dirancang untuk komputasi numerik, sangat mendukung komputasi dalam analisis data, tetapi saat menghadapi pemecahan masalah teori statistika (Matematika Statistika), mereka beralih pada sistem yang mendukung komputasi simbolik, seperti *Mathematica* atau *Maple*. Tersedianya Ryacas pada perangkat R, sangat membantu akademisi yang sudah terbiasa menggunakan R untuk melakukan komputasi simbolik tanpa perlu keluar dari sistem R. Di samping itu hasil pengolahan simbolik ini, dapat diproses lebih lanjut dengan komputasi numerik R, antara lain menampilkan grafik -merupakan salah satu kekuatan R- atau melakukan simulasi terhadapnya (Braun, W. J., & Murdoch, D. J. 2021). Kasus berikut ini akan memperagakan hal tersebut.

Kasus: mendapatkan sebaran peluang dari suatu fungsi peubah acak.

Kasus berikut ini diperoleh di dalam Wackaerly, D.D. (2008) pada halaman 298-299. Jika diketahui Y adalah suatu peubah acak, yang memiliki fungsi kepekatan peluang sebagai berikut:

$$f(y) = \begin{cases} 2y, & 0 \leq y \leq 1 \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \dots\dots (1)$$

Peubah acak U merupakan fungsi dari Y , didefinisikan sebagai berikut, $U = 3Y - 1$. Fungsi kepekatan dari peubah acak U , diperoleh dengan menggunakan Ryacas. Tahapan-tahapan penyelesaiannya adalah sebagai berikut:

1). Mendapatkan hubungan antara fungsi sebaran peubah acak U dengan Y .

$$F_U(u) = P\left(Y \leq \frac{u+1}{3}\right) \dots\dots\dots (2)$$

$$P\left(Y \leq \frac{u+1}{3}\right) = \int_0^{\frac{u+1}{3}} 2y \, dy \dots\dots\dots (3)$$

2). Mendapatkan fungsi sebaran peluang U . Koding berikut memberikan hasil integral persamaan (3), yaitu

```
> hs <- "Integrate(y,0,(u+1)/3)
+ 2*y" %>% yac_str(); hs
[1] "((u+1)/3)^2"
```

Hasilnya diubah dalam bentuk LaTeX, sebagai berikut

```
> hs %>% y_fn("TeXForm") %>% yac_str()
[1] "\\left(\\frac{u + 1}{3}\\right)^{2}"
```

LaTeX Equation editor yang digunakan untuk menampilkan hasil koding tersebut ada di <https://latexeditor.lagrida.com/>

$$\left(\frac{u+1}{3}\right)^2$$

Gambar 1. Ouput Latex Editor untuk $F_U(u)$

Sehingga fungsi sebaran peluang peubah acak U menjadi:

$$F_U(u) = \begin{cases} 0, & u < -1 \\ \left(\frac{u+1}{3}\right)^2, & -1 \leq u \leq 2 \\ 1, & u > 2 \end{cases} \dots (4)$$

3). Mendapatkan fungsi kepekatan peluang $f_U(u)$.

Fungsi kepekatan peluang untuk U , diperoleh dari turunan fungsi sebaran $F_U(u)$ yaitu sebagai berikut:

```
> "D(u) ((u+1)/3)^2" %>% yac_str()
[1] "(2*(u+1))/9"
```

Hasilnya diubah dalam bentuk LaTeX, sebagai berikut,

```
> "D(u) ((u+1)/3)^2" %>%
+ yac_str() %>% y_fn("TeXForm") %>%
+ yac_str()
[1] "\\frac{2\\left(u + 1\\right)}{9}"
```

$$\frac{2(u+1)}{9}$$

Gambar 2. Ouput Latex Editor untuk $f_U(u)$

Sehingga fungsi kepekatan peluang untuk U adalah:

$$f_U(u) = \begin{cases} \frac{2(u+1)}{9}, & -1 \leq u \leq 2 \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases} \dots (5)$$

4). Membuat kurva fungsi sebaran peubah acak U , $F_U(u)$.

R memiliki kekuatan pada komputasi Grafik, salah satunya menggunakan paket ggplot2 (Sumner, J.L. 2025). Berikut ini

koding R untuk menampilkan kurva fungsi

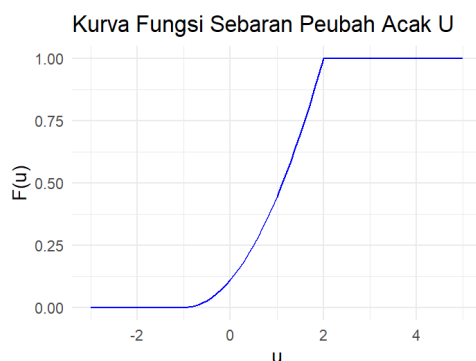
$F_U(u)$

```
> # Definisikan fungsi sebaran FU
> FU <- function(u) {
+   if (u < -1) y <- 0
+   else if (u >= -1 && u <= 2) {
+     y <- ((u + 1) / 3)^2
+   } else y <- 1
+   return(y)
+ }

> # Buat dataset
> # Opsional untuk manipulasi data
> library(dplyr)
> # Rentang nilai u
> u_values <- seq(-3, 5, by = 0.1)
> # Hitung FU(u) untuk setiap u
> data <- data.frame(u = u_values,
+   y = sapply(u_values, FU))

> library(ggplot2)
> ggplot(data, aes(x = u, y = y))+
+   geom_line(color = "blue") +
+   labs(
+     title = "Kurva Fungsi Sebaran Peubah Acak U",
+     x = "u",
+     y = "F(u)"
+   ) +
+   theme_minimal()
```

Kurva yang dihasilkan adalah:



Gambar 3. Kurva fungsi sebaran $F_U(u)$

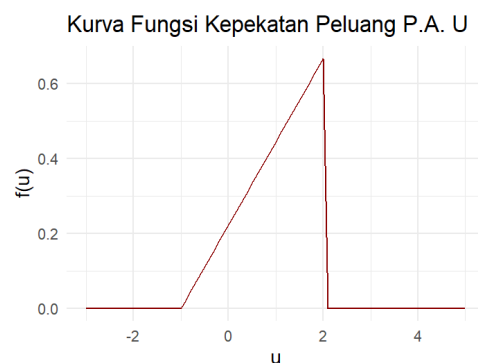
4). Membuat kurva fungsi kepekatan peluang peubah acak U , $f_U(u)$.

Langkahnya-langkahnya serupa dengan membuat fungsi sebaran $F_U(u)$. Koding

untuk fungsi kepekatan peluang (fkp) adalah sebagai berikut:

```
> # Definisikan fkp fu
> fu <- function(u) {
+   if (u >= -1 && u <= 2) {
+     y <- (2/9)*(u + 1)
+   } else y <- 0
+   return(y)
+ }
```

Kurva yang dihasilkan adalah:



Gambar 4. Kurva fungsi kepekatan $f_U(u)$

5). Simulasi pembangkitan peubah acak U . Setelah fungsi sebaran $F_U(u)$ diperoleh, maka nilai-nilai peubah acak U dapat dibangkitkan dengan metode transformasi invers (Lindyawati, T. P. at al. 2023). Ryacas dapat memperoleh fungsi invers dari fungsi $F_U(u)$, yaitu sebagai berikut:

```
> # mendefinisikan fungsi sebaran F(u)
> yac_str("F(u) := (u+1)^2 / 9")
[1] "True"

> # fungsi invers dari F(u)
> # output berupa koding LaTeX
> inv <- "Solve(F(u) == y, u)" %>%
+   yac_str() %>%
+   y_fn("TeXForm") %>%
+   yac_str(); inv

Latex editor menampilkan sebagai berikut:
```

$$\left(u = \frac{9 \left(\sqrt{\frac{4}{81} - \frac{4(\frac{1}{9}-y)}{9}} - \frac{2}{9} \right)}{2}, u = \frac{-9 \left(\frac{2}{9} + \sqrt{\frac{4}{81} - \frac{4(\frac{1}{9}-y)}{9}} \right)}{2} \right)$$

Gambar 5. Tampilan dari latex editor untuk fungsi invers dari fungsi sebaran $F_U(u)$.

Gambar 5 menunjukkan bahwa ada dua fungsi invers untuk $F_U(u)$, tetapi hanya fungsi $u(y)$ pertama yang layak -nilainya ada pada domain u -. Variabel y merupakan angka acak uniform(0, 1). Rangkaian koding berikut memberikan simulasi pembangkitan peubah acak U .

```
> # mengambil solusi yang pertama
> inv1 <- ("Solve(F(u) == y, u)"
%>% yac_str() %>% y_rmvars() %>%
yac_str() %>% as_r())[1] ; inv1
[1] "(9*(Sqrt(4/81-(4*(1/9-y))/9)-
2/9))/2"

> sim <- paste0("U := ",inv1) %>%
+ yac_expr()
> # membangkitkan 10 angka acak
> R <- runif(10)
> # hasil simulasi 10 peubahacak U
> round(sim %>% eval(list(y = R)),
4)
[1] 1.8896 -0.0346 1.8088 0.3876
[5] -0.2946 -0.0022 0.3753 1.4960
[9] 0.2473 0.7542
```

Hasil akhir dibulatkan sampai 4 tempat desimal.

KESIMPULAN

Kemampuan Ryacas sebagai sistem komputasi simbolik, memberikan manfaat besar dalam meningkatkan presisi perhitungan aritmetika maupun operasi aljabar linear. Kemampuan Ryacas juga dapat dimanfaatkan untuk penyelesaian masalah teori statistika. Sehingga para akademisi statistika mendapatkan satu alat

bermanfaat untuk berbagai keperluan, baik analisis data / statistik (komputasi numerik) atau pemeriksaan teori-teori statistika (komputasi simbolik), tanpa perlu keluar dari sistem R. Ryacas sebagai antar muka R dan yacas, akan memperluas kemampuan komputasi simbolik itu sendiri. Karena luaran-luaran Ryacas (berarti juga yacas), dapat diolah lebih lanjut dengan menggunakan paket-paket R lain, yang saat ini jumlahnya ribuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis ucapkan terima kasih kepada *The R Core Team* (<https://www.r-project.org>) dan para kontributor yang telah memelihara dan mengembangkan sistem R, sehingga menjadi maju dan semakin baik kinerjanya dari setiap versi ke versi berikutnya, serta yang terpenting R tetap non komersial. Terima kasih juga kepada teman-teman Binus dan UPH, yang mana dalam interaksi sehari-hari, dan dalam beberapa kesempatan telah memberikan pelatihan R, yang membuat penulis menjadi lebih terasah dan terampil dalam menguasai sistem R.

DAFTAR PUSTAKA

Andersen, M.M. & Søren Højsgaard (2023). *Ryacas: Getting Start*. Retrieved March 18, 2025, from <https://cloud.r-project.org/web/packages/Ryacas/vignettes/getting-started.html>

- Andrilli, S., & Hecker, D. (2022). *Elementary linear algebra*. Academic Press.
- Anton, H., & Rorres, C. (2013). *Elementary linear algebra: applications version*. John Wiley & Sons.
- Bloomfield, V. A. (2018). *Using R for numerical analysis in science and engineering*. Chapman and Hall/CRC.
- Braun, W. J., & Murdoch, D. J. (2021). *A first course in statistical programming with R*. Cambridge University Press.
- Devore, J. L., Berk, K. N., & Carlton, M. A. (2021). *Modern mathematical statistics with applications*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-55156-8>
- Douglas, A., Roos, D., Mancini, F., Couto, A., & Lusseau, D. (2022). *An introduction to R*. URL <https://intro2r.com>.
- Hirsch, R. (2023). Introduction to R. In *Analysis of Epidemiologic Data Using R* (pp. 1-12). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-41914-0_1
- Lindyawati, T. P., Arumsari, N., & Sa'diyah, A. (2023). Perbandingan Model Peluang Kegagalan Pada Sistem Pendingin Main Engine Crew Boat 41 GT. In *Proceedings Conference on Marine Engineering and its Application* (Vol. 6, No. 1).
- Mazur, G. (2025). *Ryacas to yacas interfase*. Retrieved March 27, 2025, from <https://grzegorz mazur.github.io/ryacas/>
- Sumner, J. L. (2025). Visualizing Data with ggplot2. In *R for Political Science Research: An Introduction for Absolute Beginners* (pp. 237-265). Cham: Springer Nature Switzerland.
- https://doi.org/10.1007/978-3-031-75853-9_12
- Venables, W.N, D. M. Smith & the R Core Team (2024). *An Introduction to R Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics* (Version 4.4.3). <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>
- Villanueva, R. A. M., & Chen, Z. J. (2019). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. <https://doi.org/10.1080/15366367.2019.1565254>
- Wackerly, D. D. (2008). *Mathematical statistics with applications*. Thomson Brooks/Cole.

**Karakteristik Mikroenkapsulat Minyak Buah Merah (*Pandanus conoideus* Lam.)
Berdasarkan Rasio *Core to Coating* pada Metode Gelasi Ion**

***[Characteristics of Red Fruit Oil Microencapsulates (*Pandanus conoideus* Lam.) Based on
Core to Coating Ratio at Ion Gelation Method]***

Titri Siratantri Mastuti, Angela Michelle Gunawan
Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Pelita Harapan
Jl. Thamrin Boulevard 10100, Tangerang 15811, Banten, Indonesia
*Korespondensi penulis: titri.mastuti@uph.edu

ABSTRACT

Red fruit oil has high carotenoid content which has the potential as a natural pigment. Microencapsulation with ion gelation method is one of method that can be used to protect carotenoid compounds which are naturally sensitive to light, oxygen, and high temperatures. The successful of the encapsulation process can be seen from the characteristics of the product and its encapsulation efficiency. The purpose of this study was to determine the effect of the core to coating ratio (CCR) on carotenoid efficiency and the characteristics of red fruit oil microencapsulation with the ionic gelation method using chitosan and STPP coating materials and their storage stability. fruit oil. In the preliminary stage is characterization of red fruit oil and the emulsion. In the main stage, red fruit oil microcapsules were made with variations of core to coating ratio (1:1, 1:2, 1:3, 1:4) and analyzed on the 1st and 11th days. Core to coating ratio affects water content, solubility, encapsulation efficiency, total carotenoids, carotenoid retention, antioxidant activity and stability, particle size, and color. Microencapsulates with a core to coating ratio of 1:1 gave the best results with $6.94 \pm 0.61\%$ water content, $8.76 \pm 0.38\%$ solubility, $67.89 \pm 5.72\%$ encapsulation efficiency, $141.39 \pm 18.10 \mu\text{g/g}$ total carotenoid content, $83.31 \pm 2.75\%$ carotenoid retention, $49.05 \pm 1.44 \text{ mg AAE/100 g}$ antioxidant activity, and the value of $^{\circ}\text{Hue}$ 53.26 which shows a yellowish red color. The results of the particle size test showed a particle diameter of $1.5838 \mu\text{m}$ with a Polydispersity Index value of 0.374.

Keywords : CCR, carotenoid, ionic gelation, microencapsulation, red fruit oil

ABSTRAK

Minyak buah merah memiliki kandungan karotenoid tinggi yang berpotensi sebagai pewarna alami. Mikroenkapsulasi dengan metode gelasi ion merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk melindungi senyawa karotenoid yang secara natural bersifat sensitif terhadap cahaya, oksigen, dan suhu tinggi. Kesuksesan proses enkapsulasi dapat dilihat dari karakteristik produk dan efisiensi enkapsulasinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio *core to coating* (CCR) terhadap efisiensi karotenoid dan karakteristik mikroenkapsulat minyak buah merah dengan metode gelasi ion menggunakan bahan penyalut kitosan dan STPP serta stabilitas penyimpanannya. Pada tahap pendahuluan dilakukan karakterisasi minyak buah merah yang digunakan dan emulsinya. Pada tahap utama dilakukan pembuatan mikroenkapsulat minyak buah merah dengan rasio *core to coating* (1:1, 1:2, 1:3, 1:4) dan dianalisis pada hari ke-1 dan ke-11. Rasio *core to coating* berpengaruh terhadap kadar air, kelarutan, efisiensi enkapsulasi, total karotenoid, retensi karotenoid, kapasitas antioksidan dan stabilitasnya, ukuran partikel, serta warna. Mikroenkapsulat dengan rasio *core to coating* 1:1 memberikan hasil terbaik dengan kadar air $6,94 \pm 0,61\%$, kelarutan $8,76 \pm 0,38\%$, efisiensi enkapsulasi $67,89 \pm 5,72\%$, kandungan total karotenoid $141,39 \pm 18,10 \mu\text{g/g}$, retensi karotenoid $83,31 \pm 2,75\%$, kapasitas antioksidan $49,05 \pm 1,44 \text{ mg AAE/100 g}$, serta

nilai °Hue 53,26 yang menunjukkan warna merah kekuningan. Hasil uji ukuran partikel menunjukkan diameter partikel sebesar 1,58 μm dengan nilai Polydispersity Index 0,374.

Kata kunci : CCR, gelasi ionik, karotenoid, mikroenkapsulasi, minyak buah merah

PENDAHULUAN

Minyak buah merah (MBM) merupakan minyak hasil ekstraksi buah merah (*Pandanus conoideus* Lam) sebagai tanaman endemik di Papua. Minyak ini berwarna merah dan memiliki kandungan karotenoid yang tinggi berkisar antara 3027-19959 $\mu\text{g/g}$ dan memiliki aktivitas antioksidan tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan pewarna pangan maupun pangan fungsional (Rohman *et al.*, 2012 ; Sarungallo *et al.*, 2014).

Pemanfaatan MBM tidak dapat diaplikasikan langsung pada produk pangan seperti minuman karena sifatnya yang non polar dan tidak larut air. Selain itu MBM tidak stabil dalam penyimpanan oleh karena tingginya kandungan asam lemak tidak jenuh yang dimilikinya mudah mengalami oksidasi akibat suhu maupun cahaya. Begitu pula kandungan karotenoidnya yang rentan terhadap suhu, oksigen, cahaya (Satriyanto *et al.*, 2012 ; Sarungallo *et al.*, 2018). Salah satu alternatif pengolahan MBM adalah melalui teknologi enkapsulasi yaitu teknologi untuk melapisi bahan inti dengan suatu lapisan dinding polimer dan pengeringan sehingga menjadi partikel-partikel kecil berukuran

mikro ataupun nano. Pelapisan ini akan melindungi senyawa inti seperti MBM dari pengaruh lingkungan seperti suhu dan cahaya (Akhavan *et al.*, 2016). Meskipun demikian, penentuan jenis pengemulsi dan bahan penyalut sebagai pelapis yang tepat merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap stabilitas dan karakteristik enkapsulat yang dihasilkan.

Metode gelasi ionik merupakan salah satu metode pembuatan enkapsulat dengan menggunakan dua macam bahan penyalut yang memiliki perbedaan muatan seperti pada kitosan dan sodium tripolyphosphat (STPP) sehingga terbentuk ikatan silang melalui interaksi elektrostatis (Windarti & Dewi, 2022). Kitosan merupakan polisakarida yang bermuatan positif dari adanya gugus amino, sedangkan STPP memiliki gugus fosfat yang bermuatan negatif (Thamaket & Raviyan, 2015).

Interaksi antara ion dengan muatan yang berlawanan dapat membentuk gelasi ionik yang meningkatkan pengikatan atau kekuatan gel kitosan dalam menyalut bahan inti yang juga dapat berpengaruh pada efisiensi enkapsulasi (Lusiana *et al.*, 2021). Metode ini menghasilkan efisiensi

enkapsulasi hingga 89,09% pada proses enkapsulasi karotenoid sebagai bahan inti (Thamaket & Raviyan, 2015). Sedangkan Ferdiansyah *et al.*, (2017) menghasilkan nanoenkapsulat MBM dengan total karotenoid 4,47 mg/100 g.

Enkapsulat dapat dinyatakan berukuran mikro apabila berukuran pada rentang 1-5000 μm (Fitriana & Supardan, 2019). Penelitian MBM dengan proses mikroenkapsulasi telah banyak dilakukan, diantaranya menggunakan CMC, Tween 80 atau lesitin sebagai pengemulsi, dan penggunaan maltodekstrin, siklodekstrin, gum arab, gelatin, alginat, natrium kaseinat, maupun isolat protein kedelai (Yanuwar *et al.*, 2007; Sarungallo *et al.*, 2019; Lestari *et al.*, 2021, Pratiwi *et al.*, 2020). Penggunaan campuran 2 pengemulsi dan 3 penyalut, yaitu tween 80, CMC, maltodextrin, gum arab, gelatin, menghasilkan mikroenkapsulat dengan kelarutan dan retensi karotenoid yang tinggi namun kurang efektif dari segi penggunaan bahan baku (Pratiwi *et al.*, 2020). Selain itu belum banyak penelitian enkapsulasi MBM yang meneliti kestabilan karotenoid selama penyimpanan.

Selain jenis bahan pengemulsi dan penyalut, rasio bahan inti dengan bahan penyalut atau disebut sebagai *Core to Coating Ratio* (CCR) dapat berpengaruh terhadap ukuran partikel, efisiensi

enkapsulasi dan kelarutan dari mikroenkapsulat (Jayanudin & Rochmadi, 2017; Sucianti *et al.*, 2020). Semakin kecil rasio antara bahan inti dengan bahan penyalut, semakin tinggi kelarutan mikroenkapsulat yang dihasilkan (Sarungallo *et al.*, 2019).

Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh rasio CCR terhadap efisiensi karotenoid dan karakteristik mikroenkapsulat MBM dengan metode gelasi ion menggunakan bahan penyalut kitosan dan STPP serta stabilitas penyimpanannya.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian dan analisis ini adalah MBM komersial “X” yang diproduksi oleh PT Hujan Bahagia Indonesia, kitosan, sodium tripolifosfat, tween 80, cuka 25%, air demineral, kloroform, larutan Wijs, KI, indikator pati, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, etanol, NaOH, indikator PP, heksana, aseton.

Alat yang digunakan dalam penelitian dan analisis adalah gelas piala, gelas ukur, *magnetic stirrer*, D160 *handheld homogenizer*, Buchi mini *spray dryer* B-290, erlenmeyer, buret, *heater*, *aluminium foil*, viskometer “RV-2T Brookfield”, mikroskop “Olympus”, oven “Mettler”, cawan penguapan, timbangan

analitik, desikator “Duran”, kromameter “Konica Minolta CR-400/410”, *centrifuge*, kertas saring, labu takar, tabung reaksi, spektrofotometer vis “Dlab SP-V1000”, mikroskop cahaya “Olympus”, *Particle Size Analyzer* (PSA) “Beckman Coulter”.

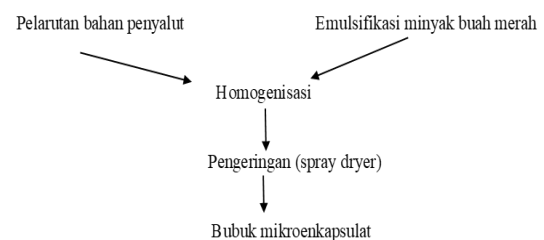
Prosedur

Penelitian terbagi menjadi tahap pendahuluan dan tahap utama. Tahap pendahuluan adalah karakterisasi MBM meliputi profil asam lemak, warna, aktivitas antioksidan. Tahap utama adalah pembuatan mikroenkapsulat dengan rasio antara penyalut dan MBM serta stabilitas pada penyimpanan.

Pembuatan mikroenkapsulat MBM dibuat berdasarkan penelitian oleh Jayanudin & Rochmadi (2017) dan Willy *et al.* (2007) dengan modifikasi. Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan kitosan sebanyak 1 gram ke 90 ml larutan asam asetat 1% kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer hingga larut. Rasio berat antara kitosan dengan STPP adalah 1:0,01. Pembuatan larutan STPP dilakukan dengan melarutkan 0,01 gram STPP ke 10 ml air demineral kemudian diaduk hingga larut. Larutan STPP ditambahkan ke larutan kitosan dan diaduk menggunakan magnetic stirrer.

MBM dan Tween 80 (rasio 1:1) ditambahkan sesuai perlakuan CCR kemudian dihomogenasi menggunakan

homogenizer dengan kecepatan 20000-23000 rpm sesuai perlakuan waktu homogenisasi. Rasio MBM banding bahan penyalut (CCR) dalam penelitian ini adalah 1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4. Waktu homogenisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 menit. Prosedur dilanjutkan dengan pengeringan mikroenkapsulat MBM menggunakan spray dryer dengan suhu inlet 170°C dan flow rate 6,67 ml/menit sehingga diperoleh bubuk mikroenkapsulat MBM. Prosedur pembuatan mikroenkapsulat dapat dilihat pada Gambar 1 dan formulasi setiap perlakuan pembuatan emulsi untuk setiap mikroenkapsulat dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan mikroenkapsulat MBM (Willy *et al.*, 2007; Jayanudin & Rochmadi, 2017)

Rancangan Percobaan dan Analisis Uji

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian tahap utama merupakan penelitian dengan 2 faktor menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua kali pengulangan. Faktor pertama adalah *core to coating ratio* (CCR) antara MBM dan kitosan dengan 4 level yaitu 1:1, 1:2, 1:3, 1:4. Faktor kedua

adalah waktu penyimpanan mikroenkapsulat dengan 2 level yaitu 1 dan 11 hari. Data tahap utama diolah secara statistik menggunakan SPSS dengan Two Way Anova menggunakan alat bantu SPSS 25.

Tabel 1. Formulasi setiap perlakuan mikroenkapsulat minyak buah merah

Bahan (%)	Core to Coating Ratio (MBM:Kitosan)			
	1:1	1:2	1:3	1:4
MBM	0,97	0,49	0,32	0,24
Kitosan	0,97	0,98	0,98	0,99
STPP	0,0097	0,0098	0,0098	0,0099
Tween 80	0,97	0,49	0,32	0,24
Asam asetat (1%)	87,37	88,23	88,52	88,66
Air demineral	9,71	9,8	9,84	9,85
Total (%)	100	100	100	100

Parameter analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah kadar air (AOAC, 2005), total karotenoid (Saadah *et al.*, 2018; Ulumi *et al.*, 2021), kapasitas antioksidan (Samosir *et al.*, 2012), efisiensi enkapsulasi (Hasrini *et al.*, 2017), retensi karotenoid (Prihananto & Dwiyantri, 2015), stabilitas (Lee & Choo, 2015), kelarutan (Tomsone *et al.*, 2020), warna (Purnamayati *et al.*, 2016), ukuran partikel (Siregar & Kristanti, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Minyak Buah Merah

Data karakteristik sampel MBM komersial yang digunakan dalam pembuatan mikroenkapsulat penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil analisis total karotenoid MBM menunjukkan bahwa sampel MBM yang digunakan memiliki total karotenoid sebesar $717,89 \pm 4,47 \mu\text{g/g}$. Berdasarkan hasil penelitian oleh Pratiwi *et al.* (2021), MBM memiliki total karotenoid sebesar 5.941-6.299 ppm.

Tabel 2. Hasil analisis MBM

Analisis	Nilai
Total Karotenoid ($\mu\text{g/g}$)	$717,89 \pm 4,47$
Kapasitas antioksidan (mg AAE/g)	$18,23 \pm 1,26$
Warna nilai <i>lightness</i>	$25,48 \pm 0,09$
Warna nilai <i>a*</i>	$24,00 \pm 0,05$
Warna nilai <i>b*</i>	$6,24 \pm 0,41$
Warna °Hue	$14,97 \pm 0,88$

Menurut Sarungallo *et al.*, (2019), kandungan total karotenoid MBM berkisar antara $3.027-19.959 \mu\text{g/g}$. Perbedaan kandungan total karotenoid dari MBM dapat dipengaruhi oleh jenis varietas dan kematangan buah. Semakin matang buah merah, semakin tinggi kandungan total karotenoid pada buah merah.

Selain itu rendahnya total karotenoid MBM pada penelitian ini juga dapat dipengaruhi oleh umur simpan MBM dan lingkungan penyimpanan. Wadah pengemas MBM komersial merupakan botol plastik yang mudah untuk terpapar cahaya dan oksigen. Kandungan karotenoid

akan menurun seiring penyimpanan karena karotenoid merupakan senyawa aktif yang mudah rusak dan dipercepat dengan adanya suhu tinggi, oksigen, dan cahaya (Meléndez-Martínez *et al.*, 2022).

Hasil analisis kapasitas antioksidan MBM menunjukkan bahwa MBM memiliki kapasitas antioksidan sebesar $18,23 \pm 1,26$ mg AAE/g MBM. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kapasitas antioksidan minyak esensial dari *Eucalyptus globulus* 19 mg AAE/g (Belkhodja *et al.*, 2021) dan lebih tinggi dibandingkan kapasitas antioksidan ekstrak daun kelor 7,923 mg AAE/g (Maryam *et al.*, 2016), minyak esensial dari *N. leucophylla* 6,6 mg AAE/g (Kumar *et al.*, 2019). Berdasarkan kekuatan kapasitas antioksidan menurut Fithriani *et al.*, (2015), kapasitas antioksidan sebesar 18,23 mg AAE/g termasuk ke dalam range sedang.

MBM secara visual berwarna merah gelap dan pekat (Sarungallo *et al.*, 2019). MBM mengandung pigmen karotenoid yang berwarna kuning, merah, atau jingga (Wardani *et al.*, 2020). Berdasarkan pengujian warna, didapatkan nilai lightness MBM sebesar $25,48 \pm 0,09$ yang tergolong cukup gelap. Nilai a^* MBM menunjukkan nilai $24,00 \pm 0,05$ yang berarti mengarah pada warna merah. Nilai b^* MBM menunjukkan nilai $6,24 \pm 0,41$ yang berarti mengarah pada warna kuning. Nilai $^{\circ}\text{Hue}$

MBM adalah 14,97 yang termasuk ke range merah-keunguan.

Berdasarkan hasil analisis karakteristik MBM, dapat diketahui bahwa MBM komersial memiliki kandungan total karotenoid yang lebih rendah dibandingkan MBM pada umumnya. Kapasitas antioksidan MBM komersial menunjukkan kekuatan yang tergolong sedang, namun berdasarkan penelitian oleh Sangkala *et al.* (2014) aktivitas antioksidan MBM tergolong sangat kuat. Hal ini dapat disebabkan metode ekstraksi MBM, umur dan kondisi penyimpanan yang berbeda, serta kemasan MBM yang mudah untuk terpapar cahaya dan oksigen.

Karakteristik Emulsi Minyak Buah Merah

Mikroenkapsulat pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan 4 variasi rasio antara bahan inti dan penyalut atau *core to coating ratio* (CCR). Pembuatan mikroenkapsulat diawali dengan pembentukan emulsi terlebih dahulu dimana karakteristik emulsi yang dihasilkan juga dapat memengaruhi atau berkorelasi dengan mikroenkapsulat yang dihasilkan.

Pada bagian ini hanya 1 faktor yang dianalisis yaitu CCR dengan parameter analisis stabilitas dan viskositas emulsi. Stabilitas emulsi menunjukkan kemampuan

emulsi bertahan tidak terpisah menjadi dua lapisan selama waktu tertentu pengamatan.

Tabel 3. Karakteristik Emulsi MBM

CCR	Stabilitas emulsi (%)	Viskositas (cp)
1:1	85,13±3,31 ^a	88,25±2,62 ^b
1:2	94,71±0,88 ^b	88,92±3,47 ^b
1:3	94,01±3,45 ^b	86,83±5,03 ^b
1:4	94,54±3,18 ^b	75,25±1,66 ^a

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa penurunan rasio CCR dimana jumlah bahan penyalut lebih banyak dibandingkan bahan inti MBM dapat meningkatkan stabilitas emulsi. Meskipun demikian hal ini juga berpengaruh terhadap penurunan viskositas emulsi. Hal ini disebabkan seiring menurunnya CCR, membuat viskositas menjadi turun.

Hasil serupa juga ditemukan pada penelitian oleh Setyaningsih *et al.*, (2020) dalam pembuatan mikroenkapsulat oleoresin jahe, semakin tinggi konsentrasi bahan inti, semakin tinggi nilai viskositas dari emulsi mikroenkapsulat.

Emulsi MBM dengan CCR 1:1 dan 1:2 memiliki warna merah sedangkan rasio 1:3 dan 1:4 memiliki warna kuning kemerahan. Minyak buah merah memiliki intensitas warna yang pekat sehingga pengurangan jumlah minyak berpengaruh terhadap warna emulsi.

Pengaruh *Core to Coating Ratio* dan Waktu Penyimpanan terhadap Mikroenkapsulat MBM

Kadar Air

Kadar air dari mikroenkapsulat MBM dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Hasil analisis statistik menunjukkan masing-masing faktor, yaitu CCR dan waktu penyimpanan berpengaruh signifikan ($p \leq 0,05$), namun tidak terdapat interaksi diantara keduanya. Tabel 4 menunjukkan nilai kadar air mikroenkapsulasi MBM meningkat seiring turunnya CCR dari 1:1 ke 1:4. Kadar air paling rendah merupakan mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1, dan kadar air paling tinggi merupakan mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:4.

Tabel 4. Pengaruh CCR terhadap kadar air mikroenkapsulat MBM

CCR	Kadar air (%)
1:1	6,94±0,61 ^a
1:2	8,68±0,76 ^b
1:3	10,43±0,90 ^c
1:4	11,87±0,52 ^d

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Viskositas emulsi mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 lebih tinggi dibandingkan emulsi mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:4. Menurut Ho *et al.* (2015), peningkatan viskositas larutan *feed spray dry* dapat menyebabkan penurunan kadar air bubuk.

Tabel 5. Pengaruh waktu penyimpanan terhadap kadar air mikroenkapsulat MBM

Waktu Penyimpanan (hari)	Kadar air (%)
1	9,87±2,03 ^b
11	9,09±2,05 ^a

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

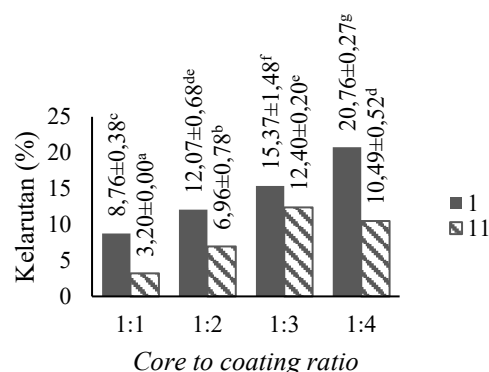
Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa kadar air mikroenkapsulat MBM menurun seiring waktu penyimpanan. Penurunan kadar air dapat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan selama penyimpanan. Pada penelitian ini, sampel bubuk disimpan dengan menggunakan *sillica gel* yang dapat menyerap uap air. Silika gel dapat menurunkan kelembaban (*relative humidity*) lingkungan sekitar sampel (Hasibuan *et al.*, 2018).

Kelarutan

Kelarutan mikroenkapsulat MBM dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil analisis statistik menunjukkan interaksi CCR dan waktu penyimpanan berpengaruh signifikan ($p \leq 0,05$) terhadap kelarutan mikroenkapsulat.

Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa kelarutan mikroenkapsulat MBM meningkat seiring turunnya CCR baik pada penyimpanan 1 hari maupun 11 hari. Karotenoid bersifat non-polar sehingga tidak larut dalam air. Tingginya kandungan karotenoid dalam mikroenkapsulat dapat menyebabkan menurunnya kelarutan (Thamaket & Raviyan, 2015). Kandungan karotenoid paling rendah adalah pada CCR 1:4 karena perbandingan jumlah inti yaitu MBM yang lebih sedikit dibandingkan

penyalut sehingga kemampuan kelarutannya paling tinggi.



Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Gambar 2. Pengaruh CCR dan waktu penyimpanan terhadap kadar air mikroenkapsulat MBM.

Kelarutan yang turun setelah beberapa lama waktu penyimpanan dapat berkaitan dengan kemampuan bahan penyalut dalam melapisi inti yaitu MBM. Melemahnya lapisan penyalut dapat mengakibatkan bahan inti yang bersifat non polar bermigrasi ke permukaan enkapsulat sehingga kelarutan menjadi turun (Layuk *et al.*, 2011).

Total Karotenoid

Total karotenoid dari mikroenkapsulat MBM dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7. Hasil analisis statistik menunjukkan masing-masing faktor, yaitu CCR dan waktu penyimpanan berpengaruh signifikan ($p \leq 0,05$), namun tidak terdapat interaksi diantara keduanya.

Berdasarkan Tabel 6 nilai kandungan total karotenoid mikroenkapsulat MBM turun bila rasio

jumlah penyalut meningkat. Mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 memiliki bahan inti yang sebanding dengan penyalut sehingga paling banyak jumlah bahan intinya, oleh karena itu kandungan karotenoid dalam mikroenkapsulat tersebut paling tinggi yaitu 141 µg/g. Sedangkan untuk mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:4 memiliki total karotenoid terendah yang linier dengan jumlah inti yang lebih sedikit dibandingkan penyalutnya.

Tabel 6. Pengaruh CCR terhadap kandungan karotenoid mikroenkapsulat MBM

CCR	Total Karotenoid (µg/g)
1:1	141,39±18,10 ^d
1:2	87,25±12,47 ^c
1:3	54,56±10,05 ^b
1:4	42,59±10,66 ^a

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Berdasarkan Tabel 7 diketahui terjadi penurunan kandungan karotenoid pada mikroenkapsulat MBM setelah disimpan selama 11 hari. Hal ini terjadi karena karotenoid merupakan senyawa yang memiliki kestabilan rendah dan mudah terdegradasi. Penyimpanan pada suhu ruang (33°C-37°C) dapat mempercepat proses degradasi senyawa karotenoid yang membentuk senyawa turunan hasil proses isomerisasi dan oksidasi. Proses isomerisasi merupakan perubahan struktur geometris pada karotenoid dari bentuk *trans* menjadi *cis*. Senyawa karotenoid dengan struktur *cis*

memiliki stabilitas yang lebih rendah sehingga lebih mudah untuk teroksidasi. Proses oksidasi menyebabkan perubahan senyawa karotenoid menjadi senyawa turunannya seperti lutein dan zeaxantin dan juga kerusakan sehingga konsentrasi karotenoid akan berkurang (Kusumaningtyas & Leenawaty, 2019; Wardani *et al.*, 2020).

Tabel 7. Pengaruh waktu penyimpanan terhadap kandungan karotenoid mikroenkapsulat MBM

Waktu penyimpanan (hari)	Total Karotenoid (µg/g)
1	90,51±46,72 ^b
11	72,38±41,68 ^a

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Efisiensi Enkapsulasi

Keberhasilan penyalutan dalam pembuatan mikroenkapsulat untuk melindungi senyawa karotenoid juga dapat dilihat dari efisiensi enkapsulasi dan retensi karotenoid. Efisiensi enkapsulasi merupakan perbandingan kandungan karotenoid dari larutan *feed* (emulsi mikroenkapsulat MBM) dengan bubuk mikroenkapsulat MBM yang dihasilkan.

Tabel 8. Efisiensi enkapsulasi mikroenkapsulat MBM pada variasi CCR

CCR	Efisiensi enkapsulasi (%)
1:1	67,89±5,72
1:2	65,12±3,91
1:3	46,31±0,64
1:4	43,85±1,36

Berdasarkan Tabel 8 dapat diketahui bahwa efisiensi enkapsulasi menurun seiring turunnya CCR yang berarti rasio bahan penyalut lebih banyak

dibandingkan bahan inti. Hasil yang sama juga dapat dilihat pada penelitian oleh Sucianti *et al.* (2020) dalam pembuatan mikroenkapsulat ekstrak kulit buah naga. Efisiensi penyalutan ekstrak kulit buah naga mengalami penurunan seiring semakin banyaknya jumlah bahan penyalut dibandingkan bahan inti.

Menurut Sarungallo *et al.* (2019), viskositas emulsi mikroenkapsulat berpengaruh terhadap efisiensi enkapsulasi dari mikroenkapsulat yang dihasilkan. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan lapisan penyalut yang terbentuk terlalu tipis dan kurang kuat sehingga bahan inti kurang terlindungi oleh bahan penyalut. Hasil penelitian ini juga menunjukkan hal yang sama, yaitu emulsi mikroenkapsulat dengan CCR 1:1 memiliki viskositas tertinggi dan efisiensi enkapsulasi tertinggi, sedangkan emulsi mikroenkapsulat dengan CCR 1:4 memiliki viskositas terendah dan efisiensi enkapsulasi yang paling rendah.

Retensi Karotenoid

Retensi karotenoid merupakan parameter untuk menentukan kemampuan mikroenkapsulat MBM untuk melindungi karotenoid setelah penyimpanan pada waktu tertentu. Berdasarkan Tabel 9, dapat diketahui bahwa retensi karotenoid mikroenkapsulat MBM menurun seiring

penurunan CCR dari 1:1 ke 1:4 setelah keempatnya disimpan selama 11 hari.

Tabel 9. Retensi karotenoid mikroenkapsulat MBM dengan variasi CCR

CCR	Retensi karotenoid (%)
1:1	84,14±2,77
1:2	81,67±0,39
1:3	78,37±6,91
1:4	70,45±12,91

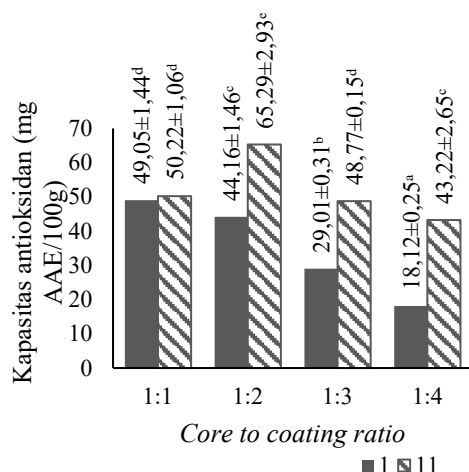
Mikroenkapsulat MBM dengan perlakuan CCR 1:1 memiliki viskositas tertinggi sehingga membentuk lapisan penyalut yang paling tebal dan kuat sehingga memiliki keunggulan dalam melindungi senyawa karotenoid. Dan sebaliknya pada mikroenkapsulat MBM dengan perlakuan CCR 1:4.

Kapasitas Antioksidan

Kapasitas antioksidan dari mikroenkapsulat MBM dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil analisis statistik menunjukkan interaksi CCR dan waktu penyimpanan berpengaruh signifikan ($p \leq 0,05$).

Dapat dilihat pada Gambar 3 pada waktu penyimpanan hari ke-1 kapasitas antioksidan mikroenkapsulat MBM menurun seiring penurunan CCR. Hasil penelitian kapasitas antioksidan linier dengan nilai total karotenoid sebab karotenoid merupakan salah satu senyawa yang berkontribusi terhadap kapasitas antioksidan. Perbedaan kapasitas antioksidan pada masing-masing perlakuan CCR disebabkan karena perbedaan jumlah

bahan inti yang ditambahkan. Bahan inti yaitu MBM memiliki kapasitas antioksidan yang tinggi, sehingga jumlah penambahan juga berpengaruh terhadap kapasitas antioksidan mikroenkapsulat MBM yang dihasilkan.



Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Gambar 3. Pengaruh CCR dan waktu penyimpanan terhadap kapasitas antioksidan mikroenkapsulat MBM

Gambar 3 menunjukkan pula bahwa penyimpanan mikroenkapsulat setelah 11 hari justru mengalami peningkatan kapasitas antioksidan. Pada CCR 1:1 terjadi peningkatan kapasitas antioksidan sebesar $2,40 \pm 0,85$ % dari hari-1 ke hari-11 penyimpanan, serta peningkatan $138,65 \pm 17,89$ % pada rasio CCR 1:4. Hal ini menunjukkan kurang stabilnya lapisan enkapsulat dalam menghambat lepasnya senyawa antioksidan dalam mikrokapsul.

Lapisan penyalut mikroenkapsulat yang kuat dapat mengurangi efektivitas ekstraksi senyawa antioksidan yang

menyebabkan rendahnya hasil analisis kapasitas antioksidan (Da Rosa *et al.*, 2014). Sedangkan lapisan penyalut mikroenkapsulat yang kurang stabil atau lemah akan menghasilkan kapasitas antioksidan yang lebih tinggi karena tingginya efektivitas ekstraksi senyawa antioksidan (Shaygannia *et al.*, 2021).

Warna

Nilai *lightness*, nilai a^* , nilai b^* , dan nilai $^{\circ}\text{Hue}$ mikroenkapsulat minyak buah dapat dilihat pada Tabel 10 dan 11. Hasil analisis statistik nilai *lightness*, nilai a^* , nilai b^* , dan nilai $^{\circ}\text{Hue}$ menunjukkan bahwa adanya pengaruh signifikan ($p \leq 0,05$) dari CCR dan waktu penyimpanan terhadap nilai *lightness* mikroenkapsulat MBM, namun tidak terdapat interaksi diantara keduanya.

Tabel 10. Pengaruh waktu penyimpanan terhadap nilai *lightness* mikroenkapsulat MBM

Waktu penyimpanan (hari)	Nilai <i>lightness</i>
1	55,60±3,57 ^a
11	56,92±3,71 ^b

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

Dapat diketahui bahwa nilai *lightness* dari mikroenkapsulat MBM meningkat setelah disimpan selama 11 hari. Hal ini disebabkan karena terjadinya degradasi senyawa karotenoid. Proses isomerisasi dan oksidasi yang menyebabkan terbentuknya senyawa turunan karotenoid menyebabkan hilangnya warna dari pigmen karotenoid

Tabel 11. Pengaruh CCR terhadap ukuran partikel dan warna mikroenkapsulat MBM

CCR	Ukuran partikel (μm)	Nilai <i>lightness</i>	Nilai a^*	Nilai b^*	Nilai $^{\circ}\text{Hue}$	Warna
1:1	1,92 $\pm$ 0,03	50,83 $\pm$ -,73 ^a	28,85 $\pm$ 0,78 ^c	38,65 $\pm$ 0,88 ^c	53,26 $\pm$ 0,33	Kuning kemerahan
1:2	1,41 $\pm$ 0,01	56,73 $\pm$ 1,56 ^b	23,97 $\pm$ 2,08 ^b	36,87 $\pm$ 1,18 ^b	57,02 $\pm$ 1,75	Kuning kemerahan
1:3	1,27 $\pm$ 0,05	57,77 $\pm$ 0,94 ^b	21,86 $\pm$ 0,97 ^{ab}	35,14 $\pm$ 0,54 ^a	58,12 $\pm$ 1,47	Kuning kemerahan
1:4	0,94 $\pm$ 0,04	59,71 $\pm$ 1,32 ^c	20,18 $\pm$ 1,41 ^a	33,67 $\pm$ 0,60 ^a	59,09 $\pm$ 1,47	Kuning kemerahan

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p \leq 0,05$)

dan menyebabkan nilai *lightness* meningkat (Kusumaningtyas & Leenawaty, 2019; Wardani *et al.*, 2020).

Berdasarkan Tabel 11 dapat dilihat bahwa nilai *lightness* mikroenkapsulasi meningkat seiring menurunnya CCR. Hal ini disebabkan perbedaan jumlah penambahan MBM. Penambahan MBM menurunkan nilai *lightness* dari mikroenkapsulat MBM sehingga mikroenkapsulat MBM CCR 1:1 dengan penambahan MBM paling banyak memiliki nilai *lightness* paling rendah, dan sebaliknya CCR 1:4.

Nilai a^* dan b^* yang semakin positif menunjukkan obyek yang semakin ke arah warna merah dan kuning. Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa semakin besar nilai CCR semakin tinggi nilai kemerahan dan kekuningan dari mikroenkapsulat MBM.. Berdasarkan Tabel 11, CCR 1:1 dengan jumlah inti MBM paling banyak memiliki nilai a^* dan nilai b^* paling tinggi, dan CCR 1:4 dengan penambahan MBM paling sedikit memiliki

nilai a^* dan nilai b^* paling rendah. Mikroenkapsulat MBM pada semua CCR berada pada *range* warna yang sama yaitu kuning kemerahan.

Ukuran Partikel

Berdasarkan Tabel 11, hasil pengujian ukuran partikel menggunakan mikroskop cahaya dengan perbesaran 1000x menunjukkan bahwa ukuran partikel mikroenkapsulat MBM menurun seiring menurunnya CCR. Viskositas emulsi mikroenkapsulat berpengaruh terhadap ukuran partikel dari mikroenkapsulat yang dihasilkan. Semakin tinggi viskositas emulsi larutan *feed*, lapisan penyalut yang terbentuk semakin tebal dan kuat sehingga ukuran partikel menjadi semakin besar. (Sarungallo *et al.*, 2019).

Penentuan Mikroenkapsulat dengan Perlakuan Terbaik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroenkapsulat MBM dengan perlakuan CCR 1:1 dengan waktu penyimpanan 1 hari menunjukkan karakteristik terbaik dengan kadar air

paling rendah, kandungan total karotenoid paling tinggi, dan kapasitas antioksidan paling tinggi. Setelah disimpan selama 11 hari, mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 menunjukkan keunggulan dalam efisiensi enkapsulasi karotenoid, retensi karotenoid, serta kemampuan untuk melindungi senyawa antioksidan paling baik.

Berdasarkan aspek warna, mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 menunjukkan keunggulan dengan nilai *lightness* paling rendah yang berarti warna paling pekat, dan nilai °Hue yang paling mendekati warna merah.

Ukuran Partikel

Mikroenkapsulat dengan perlakuan terbaik dianalisis menggunakan alat *particle size analyzer* (PSA). Dapat diketahui bahwa rata-rata diameter partikel mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 adalah 1,5838 μm . Hasil serupa ditemukan pada penelitian oleh Dipahayu & Kusumo (2021), dimana pembuatan nanopartikel ekstrak etanol daun ubi jalar ungu dengan bahan penyalut kitosan dan sodium tripolifosfat serta dengan CCR 1:1 menunjukkan rata-rata ukuran partikel adalah 1,482 μm .

Polydispersity Index (PDI) merupakan indeks yang mengukur heterogenitas berdasarkan distribusi dari ukuran partikel. Berdasarkan analisis

mikroenkapsulat perlakuan terbaik dapat diketahui bahwa rata-rata PDI mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 adalah 0,374 yang menunjukkan distribusi ukuran partikel yang tergolong homogen (Ningsih *et al.*, 2017). Hasil serupa ditemukan pada penelitian oleh Dipahayu & Kusumo (2021), dalam pembuatan nano partikel ekstrak etanol daun ubi jalar ungu dengan bahan penyalut kitosan dan sodium tripolifosfat serta dengan CCR 1:1 menunjukkan rata-rata PDI adalah 0,348.

KESIMPULAN

Rasio CCR berpengaruh terhadap efisiensi karotenoid pada mikroenkapsulasi metode gelasi ion menggunakan penyalut kitosan dan STPP. Nilai CCR yang tinggi yaitu jumlah inti banyak menghasilkan efisiensi karotenoid yang diperoleh semakin besar. Mikroenkapsulat MBM terbaik adalah mikroenkapsulat dengan CCR 1:1 dengan karakteristik nilai kadar air $6,94 \pm 0,61\%$, kelarutan $8,76 \pm 0,38\%$, efisiensi enkapsulasi $67,89 \pm 5,72\%$, kandungan total karotenoid $141,39 \pm 18,10 \mu\text{g/g}$, retensi karotenoid $83,31 \pm 2,75\%$, kapasitas antioksidan $49,05 \pm 1,44 \text{ mg AAE/100 g}$, serta nilai °Hue 53,26 yang menunjukkan warna merah kekuningan.

Hasil uji partikel menunjukkan ukuran partikel mikroenkapsulat dengan CCR 1:1 sebesar 1,5838 μm dengan nilai

PDI 0,374. Mikroenkapsulat MBM dengan CCR 1:1 stabil hingga 11 hari penyimpanan berdasarkan retensi karotenoid sebesar $83,31 \pm 2,75\%$.

SARAN

Peningkatan efisiensi enkapsulasi dengan meningkatkan jumlah bahan inti atau rasio penyalutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada LPPM UPH yang telah mendanai penelitian ini berdasarkan No Penelitian : P-10-FaST/VIII/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. *AOAC International*
- Belkhodja, H., Bouhadi, D., Medjadel, B., dan Brakna, A. 2021. Physicochemical characterization and evaluation of the antioxidant activities of essential oil extracted from *Eucalyptus globulus*. *European Journal of Biological Research*, 11(3): 315-324.
<http://www.journals.tmkarpinski.com/index.php/ejbr/article/view/450>
- Da Rosa, C. G., Borges, C. D., Zambiasi, R. C., Rutz, J. K., da Luz, S. R., Krumreich, F. D., Benvenuti, E. V., dan Nunes, M. R. 2014. Encapsulation of the phenolic compounds of the blackberry (*Rubus fruticosus*). *Lwt*, 58(2), 527–533.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.03.042>
- Djafar F, Supardan MD. 2019. Pengaruh penyalut maltodekstrin terhadap produk mikrokapsul minyak jahe dengan teknik spray drying. *Jurnal Litbang Industri*, 9(1) : 1-7.
<https://doi.org/10.24960/jli.v9i1.4664.1-7>
- Dipahayu, D., dan Kusumo, G. G. 2021. Formulasi dan Evaluasi Nano Partikel Ekstrak Etanol Daun Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L.) Varietas Antin-3. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 3(6), 781–785.
<https://doi.org/10.25026/jsk.v3i6.818>
- Ferdiansyah, F., Heriyanto, H., Wijaya, C. H., Limantara, L., Ilmu, D., Pertanian, F. T., dan Bogor, I. P. 2017. Pengaruh Metode Nanoenkapsulasi terhadap Stabilitas Pigmen Karotenoid dan Umur Simpan Minyak dari Buah Merah (*Pandanus conoideus* L). *Agritech*, 37(4), 369–376.
<https://doi.org/10.22146/agritech.15467>
- Fithriani, D., Amini, S., Melanie, S., dan Susilowati, R. 2015. Uji Fitokimia, Kandungan Total Fenol dan Aktivitas Antioksidan Mikroalga *Spirulina* sp., *Chlorella* sp., dan *Nannochloropsis* sp. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 10(2), 101.
<https://doi.org/10.15578/jpbkp.v10i2.270>
- Hasibuan, R., Dian, I., dan Marbun, S. 2018. Effectiveness of Various Desiccants and Air Velocity on Adsorption of Water Vapor From Air. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1).
- Hasrini, R. F., Zakaria, F. R., Adawiyah, D. R., dan Suparto, I. H. 2017. Mikroenkapsulasi Minyak Sawit Mentah Dengan Penyalut Maltodekstrin Dan Isolat Protein Kedelai. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 28(1), 10–19.
<https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.1.10>

- Ho, L. P., Pham, A. H., dan Le, V. V. M. 2015. Effects of Core/Wall Ratio and Inlet Temperature on the Retention of Antioxidant Compounds during the Spray Drying of Sim (Rhodomyrtus tomentosa) Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2088–2095.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12452>
- Jayanudin, J., dan Rochmadi, R. 2017. Pengaruh Perbedaan Bahan Penyalut Terhadap Efisiensi Enkapsulasi Oleoresin Jahe Merah. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 13(2), 275–287.
<https://doi.org/10.20961/alchemistry.v13i2.5406>
- Kumar, V., Mathela, C. S., Kumar, M., dan Tewari, G. 2019. Antioxidant potential of essential oils from some Himalayan Asteraceae and Lamiaceae species. *Medicine in Drug Discovery*, 1, 100004.
<https://doi.org/10.1016/j.medidd.2019.100004>
- Kusumaningtyas, R., dan Leenawaty, L. 2019. Isomerisasi Dan Oksidasi Senyawa Karotenoid Dalam Buah Kelapa Sawit Selama Pengolahan Cpo The Isomerization And Oxidation Of Carotenoid Compounds In The Oil Palm. *Indo. J. Chem*, 9(November), 48–53.
- Layuk, P., Lintang, M., dan Motulo, H. J. 2011. Pengaruh Bahan Penyalut Terhadap Kualitas Enkapsulasi Minyak Atsiri Pala. *Seminar Nasional Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 217–225.
- Lee, P. E., dan Choo, W. S. 2015. Characterization of flaxseed oil emulsions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4378.
<https://doi.org/10.1007/S13197-014-1495-3>
- Lusiana, R. A., Ahmad, S., Khabibi, dan Faradina, G. 2021. Pengaruh Tripolifosfat sebagai Agen Taut Silang pada Membran Kitosan Terhadap Karakter Fisikokimia dan Kemampuan Permeasi. *Journal Environmental Chemistry*, 1(1), 19–24.
<https://doi.org/10.14710/gjec.2021.10898>
- Maryam, S., Baits, M., dan Nadia, A. 2016. Pengukuran Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Kelor(Moringa oleifera Lam.) Menggunakan Metode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 2(2), 115–118.
<https://doi.org/10.33096/jffi.v2i2.181>
- Meléndez-Martínez AJ, Mandić AI, Bantis F, Böhm V, Borge GIA, Brnčić M, Bysted A, Cano MP, Dias MG, Elgersma A, *et al.* 2022. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: status quo, applications, patents, and research needs. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 62(8):1999–2049.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
- Murtiningrum, Sarungallo, Z. L., dan Roreng, M. K. 2011. Kandungan Komponen Aktif Minyak Kasar Dan Hasil Degumming dari Buah Merah (Pandanus conoideus) yang Diekstrak Secara Tradisional. September.
- Ningsih, N., Yasni, S., dan Yuliani, S. 2017. Sintesis Nanopartikel Ekstrak Kulit Manggis Merah Dan Kajian Sifat Fungsional Produk Enkapsulasinya. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 28(1), 27–35.
<https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.1.27>
- Pratiwi, I., Sarungallo, Z. L., dan Santoso, B. 2020. Sifat Fisikokimia MBM (Pandanus conoideus Lamk.) Degumming dan Karakteristik

- Mikroenkapsulat MBM yang Dihasilkan. *Agritechology*, 3(2),50. <https://doi.org/10.51310/agritechnology.v3i2.54>
- Purnamayati, L., Dewi, E. N., dan Kurniasih, R. A. 2016. Karakteristik Fisik Mikrokapsul Fikosianin Spirulina Pada Konsentrasi Bahan Penyalut Yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.20961/jthp.v9i2.12844>
- Rohman, A., Sugeng, R., dan Man, C. 2012. Characterization of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam) oil. *International Food Research Journal*, 19(2): 563-567.
- Saadah, M., Nurdiana, N., dan Wahyudiati, D. 2018. Uji Kadar Zat Warna (β -karoten) Pada Cabe Merah (*Capsicum annum*. Linn) sebagai Pewarna Alami. *Biota: Jurnal Tadris IPA Biologi FITK IAIN Mataram*, 9(1), 86–95. <https://doi.org/10.20414/jb.v9i1.40>
- Sarungallo, Z. L., Hariyadi, P., dan Andarwulan, N. 2014. Pengaruh Metode Ekstraksi Terhadap Mutu Kimia dan Komposisi Asam Lemak MBM (*Pandanus Conoideus*). *Eko Hari Purnomo J Tek Ind Pert*, 24(3), 209–217.
- Sarungallo, Z. L., Murtiningrum, dan Paiki, N. P. 2011. Sifat Fisikokimia Minyak Kasar dan Hasil Degumming dari Buah Merah (*Pandanus conoideus* L.) yang diekstrak secara Tradisional Merdey. *Jurnal Agrotek*, 1(6), 9–15.
- Sarungallo, Z. L., Santoso, B., Roreng, M. K., dan Murni, V. 2019. Karakteristik Mutu Mikroenkapsulat MBM (*Pandanus conoideus*) Dengan Perbandingan Konsentrasi Bahan Pengemulsi dan Bahan Pelapis. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 5(2), 528–539. <https://doi.org/10.29303/profood.v5i2.119>
- Shaygannia, S., Eshaghi, M. R., Fazel, M., dan Hashemiravan, M. 2021. The Effect of Microencapsulation of Phenolic Compounds from Lemon Waste by Persian and Basil Seed Gums on the Chemical and Microbiological Properties of Mayonnaise. *Preventive Nutrition and Food Science*, 26(1), 82–91. <https://doi.org/10.3746/PNF.2021.26.1.82>
- Sucianti, Nurhaeni, dan Hardi, J. 2020. Mikroenkapsulasi Ekstrak Kulit Buah Naga Super Merah (*Hylocereus costaricensis*) pada Berbagai Massa Maltodekstrin dan Aplikasinya Sebagai Antioksidan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 6(3), 191–197. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i3.9889>
- Thamaket, P., dan Raviyan, P. 2015. Preparation and physical properties of carotenoids encapsulated in chitosan cross-linked tripolyphosphate nanoparticles. *Food and Applied Bioscience Journal*, 3(1), 69–84.
- Ulumi, M. L. N. N., Wirandhani, D. S., Ardhani, R. F., Andhani, C. O., dan Putri, D. N. 2021. Mikroenkapsulasi Pigmen Beta-Karoten Dengan Metode Foam Mat Drying Menggunakan Gelatin Tulang Ikan Kakap Merah Sebagai Bahan Penyalut. *J. Teknologi Industri Pertanian*, 15(4), 1183–1195. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i4.11689>
- Wardani, A. D., Susanto, E., Dewi, E. N., dan Purnamayati, L. 2020. Pengaruh Perbedaan Pre-Treatment Terhadap Stabilitas. *Jphpi*, 23, 236–247. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i2.30878>
- Willy, Y., Widjanarko, S. B., dan Wahono, T. 2007. Karakteristik Dan Stabilitas Antioksidan Mikrokapsul MBM (*Pandanus conoideus* Lam) Dengan Bahan Penyalut Berbasis Protein.

Jurnal Teknologi Pertanian, 8, 127–135.

Windarti, T., dan Dewi, A. 2022. Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat Sebagai Kandidat Material Pelapis Artefak Kayu Tripolyphosphate Modified Chitosan As A Candidate For Wood Artifacts Coating Materials. *Borobudur*, XVI(1), 39–50. <https://doi.org/10.33374/jurnalkonservasicagarbudaya.v16i1.270>

Yanuwar W, Widjanarko SB, dan Wahono T. 2007. Karakteristik dan stabilitas antioksidan mikrokapsul MBM (*pandanus conodeus*) dengan bahan penyalut protein. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(2): 127-135

Modifikasi Sistem *Cutting Body Ply* pada Mesin *Building* Menggunakan PLC Allen-Bradley

[*Modification of Bodyply Cutting System on Building Machines Using Allen-Bradley PLC*]

Mario Gracio A. Rhizma¹, Denson Siburian², Henri P. Uranus^{3*}
^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pelita Harapan, Indonesia
*Korespondensi penulis: mario.rhizma@uph.edu

ABSTRACT

The process of body ply cutting system was previously performed manually, resulting in high cycle time and safety risks. The main issues include the lack of standardization in cutting pressure, cutting speed, and the risks associated with using a blade heated to 160-180°C. The proposed automated solution involves implementing proximity sensors, a Variable Frequency Drive (VFD), pneumatic solenoids, a three-phase motor, and a heating system with temperature control using a thermocouple. The system is controlled using an Allen-Bradley PLC and programmed with Studio 5000 Logix Designer. The results indicate that the modifications successfully reduce the cycle time per unit by 9.11% and increased production in the first shift by 7.6%.

Keywords : *Body ply cutting; VFD; PLC; Allen-Bradley; automation*

ABSTRAK

Proses *body ply cutting* sebelumnya dilakukan secara manual, menyebabkan tingginya *cycle time* dan risiko keselamatan kerja. Beberapa masalah utama yang terjadi adalah tekanan pemotongan yang tidak standar, kecepatan pemotongan, dan risiko penggunaan pisau yang dipanaskan hingga 160-180°C. Solusi yang diusulkan adalah otomatisasi proses mencakup penerapan sensor *proximity*, *Variable Frequency Drive* (VFD), solenoid pneumatik, motor 3 fasa, serta pemanas dengan pengendalian suhu menggunakan termokopel. Sistem ini dikontrol menggunakan PLC Allen-Bradley dan diprogram melalui Studio 5000 Logix Designer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi ini berhasil mengurangi *cycle time/unit* sebesar 9,11% dan meningkatkan produksi pada *shift* 1 sebesar 7,6%.

Kata kunci : *Body ply cutting; VFD; PLC; Allen-Bradley; otomatisasi*

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di industri manufaktur, khususnya dalam sistem kontrol dan otomatisasi, mendorong inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Dalam proses produksi ban di PT. ABC Tbk, terutama pada *Building Section* yang bertujuan merakit material menjadi *greentire*, ditemukan bahwa proses

pemasangan *Body Ply* memiliki *cycle time* tertinggi, yaitu 51 detik, dibandingkan proses lainnya. *Cycle time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan dari awal hingga akhir proses tersebut. Analisis menunjukkan bahwa proses pemotongan *Body Ply* secara manual menggunakan pisau *heater* menjadi salah satu penyebab tingginya waktu proses tersebut. Oleh

karena itu, diperlukan modifikasi sistem dengan membuat auto *Cutting Body Ply* untuk mengotomatis proses pemotongan, sehingga waktu pemasangan *Body Ply* dapat dikurangi dan produktivitas mesin meningkat.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan terdiri dari mesin *Building*, PLC, VFD, motor induksi 3 fasa, HMI, dan sensor *proximity*.

Mesin *Building* adalah alat utama dalam proses produksi ban yang berfungsi untuk menggabungkan berbagai material hingga menghasilkan *greentire*. Proses ini terbagi menjadi tiga area utama yaitu *Ply Up Drum* (PUD), *Belt Tread Drum* (BTD), dan *Building Drum* (BDD).

Di area PUD, dilakukan pemasangan material seperti *Sidewall*, *Innerliner*, *Steel Chafer*, *Body Ply*, serta proses *Carcass Stitching*, pemasangan *Bead*, dan *Belt Edge Cushion*. Material tersebut dirakit pada drum *carcass* hingga menghasilkan *greencase* sebagai tahap awal pembentukan *greentire* (Prakoso, 2020).

Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengendalikan proses otomatisasi di industri. PLC yang

digunakan adalah PLC Allen-Bradley dengan dukungan perangkat lunak pemrograman seperti RSLogix atau Studio 5000 (Rais et al., 2022), berfungsi untuk memantau status masukan dari sensor, memproses data berdasarkan program yang dipasang, dan menghasilkan keluaran untuk mengontrol aktuator seperti motor dan katup. PLC menggunakan bahasa pemrograman seperti *ladder diagram*, *statement list*, dan *function block diagram* (FBD). Dibandingkan sistem kendali konvensional, PLC memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, keandalan, dan kemampuannya beroperasi di lingkungan industri yang berat (Nugraha et al., 2023).

Variable Frequency Drive (VFD) adalah perangkat elektronik yang mengatur kecepatan dan torsi motor induksi dengan mengubah frekuensi dan tegangan suplai listrik. VFD yang digunakan adalah SINAMICS V20 dari Siemens, berfungsi untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa mesin dalam aplikasi yang memerlukan variasi kecepatan, seperti pada pompa, *fan*, dan *conveyor*. Prinsip kerjanya memanfaatkan teknologi modulasi lebar pulsa (PWM) untuk menghasilkan kontrol presisi pada motor listrik (Agamloh, 2017). PLC berkomunikasi dengan perangkat eksternal seperti HMI atau sistem SCADA (Yadav et al., 2021) (Thepmanee et al., 2022) (Steven et al., 2022) melalui protokol

komunikasi industri yang standar, seperti Modbus, Profibus, EtherCAT, *Ethernet/IP*, atau *CANopen*.

Motor induksi tiga fasa adalah jenis motor listrik andal yang umum digunakan di industri karena efisiensi tinggi dan biaya operasional rendah. Motor ini bekerja berdasarkan medan magnet berputar yang dihasilkan oleh suplai arus tiga fasa pada stator, yang menginduksi arus di rotor sehingga menghasilkan putaran. Motor ini tidak memerlukan sikat atau komutator, sehingga perawatannya lebih sederhana (Prasetya et al., 2018).

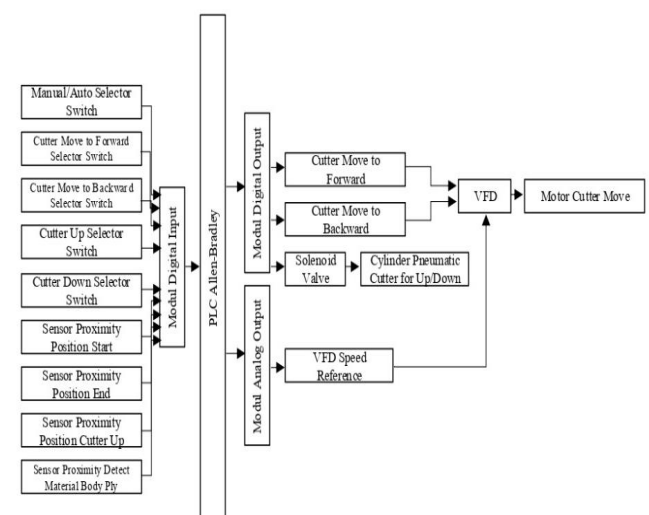
Human Machine Interface (HMI) adalah antarmuka yang menghubungkan operator dengan mesin atau sistem kendali, memungkinkan pemantauan dan pengendalian proses secara *real-time* melalui perangkat layar sentuh atau komputer. HMI sering digunakan bersama PLC untuk menampilkan status mesin, menerima masukan operator, dan memberikan peringatan jika terjadi kesalahan, sehingga mempermudah pengoperasian dan pemantauan sistem otomatisasi (Mourtzis et al., 2023).

Sensor *proximity* adalah sensor yang mendeteksi keberadaan objek tanpa kontak fisik, menggunakan prinsip elektromagnetik, kapasitif, atau optik. Sensor *proximity* yang digunakan adalah tipe *Normally Open* (NO), berfungsi untuk

mendeteksi posisi, kecepatan, atau kehadiran objek dalam aplikasi industri seperti *conveyor* dan pintu otomatis, dengan jenis utama meliputi sensor induktif untuk logam, kapasitif untuk non-logam, dan optik untuk deteksi berbasis cahaya (Sirait et al., 2024).

Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dari observasi untuk mengidentifikasi masalah, kemudian diikuti dengan penentuan tujuan penelitian.



Gambar 1. Blok Diagram *Cutting Body Ply*

Selanjutnya dilakukan studi pustaka dan studi lapangan untuk mendukung pengumpulan data. Proses berlanjut ke pengolahan data. Data yang telah diolah digunakan dalam tahap perancangan *hardware* dan *software*. Setelah itu, *hardware* dan *software* diuji. Jika pengujian berhasil, data dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan dan saran.

Berdasarkan Gambar 1, proses dimulai dengan mengoperasikan beberapa *selector*, kemudian masuk ke modul digital dan diproses oleh CPU PLC Allen-Bradley. Kemudian data tersebut diteruskan menuju modul *digital output* yang akan dihubungkan ke aktuator berupa *solenoid valve* untuk menggerakkan *cylinder pneumatic* dan *Variable Frequency Drive (VFD)* untuk mengontrol motor induksi 3 fasa. Modul *analog output* dihubungkan dengan VFD untuk *speed reference*. *Sensor proximity* dengan koneksi *Normally Open (NO)* akan mendeteksi posisi awal *Cutter Body Ply* saat bergerak maju (*forward*) dan posisi akhir saat bergerak mundur (*backward*). Sensor ini menggunakan tegangan operasi 24V dan berjenis induktif karena *Body Ply* mengandung *steel cord* logam. Dimensi sensor adalah $M12 \times 30$ mm, dengan jarak deteksi 2-25 mm. *Sensor proximity position end* akan mendeteksi posisi akhir setelah *Cutter Body Ply* bergerak maju (*forward*). *Sensor reed switch* dengan koneksi *Normally Open (NO)* berfungsi mendeteksi posisi atas (*up*) *Cutter Body Ply* sebelum *cutter* menekan ke bawah untuk memotong material *Body Ply*. Sensor ini menggunakan tegangan operasi 24V dan mendeteksi magnet yang terdapat di dalam silinder pneumatik. Rancang bangun sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagian Mesin *Building* pada Area *Cutter Body Ply*

Berikut ini merupakan bagian-bagian mesin *Building* area *Cutter Body Ply*, yaitu:

1. *Sensor Proximity Position Start*
Sensor ini berfungsi mendeteksi posisi awal *Cutter Body Ply* sebelum bergerak maju (*forward*) dan posisi akhir dari gerakan *cutter* saat bergerak mundur (*backward*)
2. *Sensor Proximity Position End*
Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi posisi akhir setelah *Cutter Body Ply* bergerak maju (*forward*)
3. *Unit Cutter Body Ply*
Cutter Body Ply berfungsi untuk memotong material *Body Ply*. *Cutter Body Ply* dapat bergerak maju (*forward*) dan mundur (*backward*) dengan motor induksi sebagai aktuator.
4. *Material Body Ply*
5. *Conveyor Body Ply*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beberapa Parameter

Body Ply

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter *Length Body Ply*

No	Pengujian	Parameter <i>Length Body Ply</i>	Hasil pengukuran dengan alat ukur meteran	% <i>Error</i>
1	Pengujian ke-1	1000 mm	999 mm	0.08%
2	Pengujian ke-2	1050 mm	1055 mm	0.4%
3	Pengujian ke-3	1100 mm	1098 mm	0.16%
4	Pengujian ke-4	1150 mm	1149 mm	0.08%
5	Pengujian ke-5	1200 mm	1197 mm	0.24%
6	Pengujian ke-6	1250 mm	1250 mm	0%
7	Pengujian ke-7	1300 mm	1296 mm	0.32%
8	Pengujian ke-8	1350 mm	1345 mm	0.4%
9	Pengujian ke-9	1400 mm	1401 mm	0.08%
10	Pengujian ke-10	1450 mm	1452 mm	0.16%
Rata-rata				0.192%

Parameter yang pertama diuji adalah *Length Body Ply*. Hasil pengujian terlihat pada Tabel 1. Parameter lain yang juga diuji adalah *Speed Cutter Body Ply* dan *Heater Cutter Body Ply*, seperti terlihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter *Speed Cutter Body Ply*

No	Pengujian	Parameter <i>Speed Cutter Body Ply</i>		Nilai aktual VFD (Hz)	% <i>Error</i>
		mm/s	Hz		
1	Pengujian ke-1	35 mm/s	12.32 Hz	11.96 Hz	2.92%
2	Pengujian ke-2	40 mm/s	14.06 Hz	13.94 Hz	0.85%
3	Pengujian ke-3	45 mm/s	15.84 Hz	15.67 Hz	1.07%
4	Pengujian ke-4	50 mm/s	17.60 Hz	17.41 Hz	1.08%
5	Pengujian ke-5	55 mm/s	19.36 Hz	19.03 Hz	1.70%
6	Pengujian ke-6	60 mm/s	21.12 Hz	21.08 Hz	0.19%
7	Pengujian ke-7	65 mm/s	22.88 Hz	22.62 Hz	1.14%
8	Pengujian ke-8	70 mm/s	24.64 Hz	24.29 Hz	1.42%
9	Pengujian ke-9	75 mm/s	26.40 Hz	26.09 Hz	1.17%
10	Pengujian ke-10	142 mm	50 Hz	49.76 Hz	0.48%
Rata-rata					1.20%

Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil pengujian parameter *Length Body Ply*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dan didapatkan rata-rata *error* sebesar 0.19 %. Sehingga nilai akurasi yang didapatkan sebesar 98,8 %.

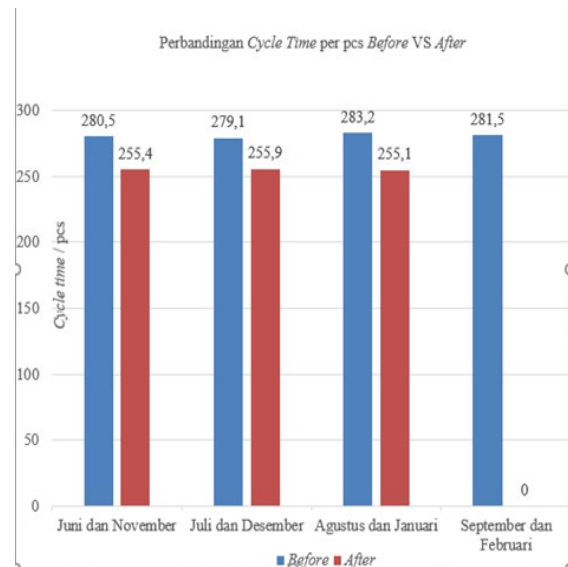
Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil pengujian parameter *Speed Cutter Body Ply*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali, didapatkan rata-rata *error* sebesar 1.20 %, dan nilai akurasi yang didapatkan sebesar 98,79 %.

Pada Tabel 3 dapat dilihat hasil *heater cutter Body*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dan didapatkan rata-rata *error* sebesar 1.81 % dengan nilai akurasi 98,19 %.

Tabel 3. Hasil Pengujian Parameter *Heater Cutter Body Ply*

No	Pengujian	Setpoint heater	Suhu aktual heater	% Error
1	Pengujian ke-1	10 °C	9.7 °C	3%
2	Pengujian ke-2	20 °C	19.3 °C	3.50%
3	Pengujian ke-3	30 °C	29.2 °C	2.67%
4	Pengujian ke-4	50 °C	49.93 °C	0.14%
5	Pengujian ke-5	80 °C	79.6 °C	0.50%
6	Pengujian ke-6	110 °C	109.5 °C	0.45%
7	Pengujian ke-7	140 °C	139.7 °C	0.21%
8	Pengujian ke-8	160 °C	159.2 °C	0.50%
9	Pengujian ke-9	180 °C	179.3 °C	0.39%
10	Pengujian ke-10	200 °C	199.1 °C	0.45%
Rata-rata				1.81%

sementara setelah modifikasi meningkat menjadi 67 pcs. Hal ini menunjukkan peningkatan produksi sebesar 4,75 pcs atau 7,6%.



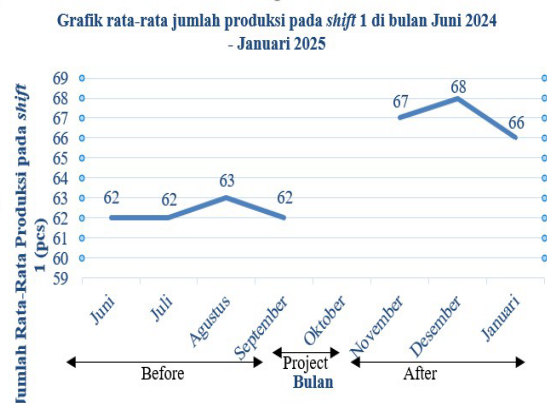
Gambar 3. Hasil Pengujian *Cycle Time* Sebelum dan Sesudah Modifikasi

Hasil Pengujian *Cycle Time*

Pengujian *cycle time* dilakukan pada bulan Juni hingga September 2024. Pada bulan Oktober dilakukan modifikasi otomatisasi sistem, dan pengujian *cycle time* setelah modifikasi dimulai lagi dari bulan November 2024 hingga Januari 2025.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa rata-rata *cycle time*/pcs sebelum modifikasi adalah 281,07 detik, sementara setelah modifikasi menurun menjadi 255,46 detik, terjadi pengurangan *cycle time*/pcs yang berdampak pada peningkatan jumlah produksi.

Gambar 4 menunjukkan rata-rata produksi *shift* 1 sebelum modifikasi sistem *Cutting Body Ply* adalah 62,25 pcs,



Gambar 4. Hasil Pengukuran Rata-rata Jumlah Produksi Sebelum dan Sesudah Modifikasi

KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa parameter *Length Body Ply* mencapai tingkat akurasi sebesar 98,8 %, parameter *Speed Cutter Body Ply* memiliki akurasi sebesar 98,79 %, dan parameter

Heater Cutter Body Ply memiliki akurasi sebesar 98,19 %.

Proses modifikasi sistem dengan mengotomatisasi proses pemotongan *Body Ply* mengurangi *cycle time*/pcs rata-rata sebesar 25,61 detik, hal ini berdampak pada peningkatan produktivitas rata-rata sistem hingga 7,6%.

DAFTAR PUSTAKA

- Prakoso, G. (2020). *Modifikasi Sistem Carcass Stitcher Pada Mesin Building Menggunakan PLC Siemens Simatic S7-300* [Laporan Tugas Akhir]. Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana, Jakarta.
- Rais, M. H., Awad, R. A., Lopez, J., & Ahmed, I. (Apr 2022). Memory Forensic Analysis Of A Programmable Logic Controller In Industrial Control Systems, *Forensic Science International: Digital Investigation*, Commonwealth University, vol. 40. <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2022.301339>.
- Nugraha, A. T., Marjuki, R., Agna, D. I. Y., & Ivannuri, F. (Mei 2023). Sistem Kontrol Tegangan pada Generator Induksi 3 Phasa dengan PLC Voltage, *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* vol. 13 no. 01, 21–33. <https://doi.org/10.47709/elektriese.v13i01.2347>
- Agamloh, E. B. (2017). Power and Efficiency Measurement of Motor-Variable-Frequency Drive Systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53 no. 1, 766-773. <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2602807>
- Yadav, G., & Paul, K. (2021). Architecture and security of SCADA systems: A review, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 34. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>
- Thepmanee, T., Pongswatd, S., Asadi, F., & Ukakimaparn, P. (Apr 2022). Implementation of control and SCADA system: Case study of Allen Bradley PLC by using WirelessHART to temperature control and device diagnostic, *Energy Reports* vol. 8, 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.163>
- Steven, H., Nabihah, A. R., Sherina, T., Dwiyaniti, M., Indriyani, S., & Widjajanto, D. (2022). Implementasi PLV-VSD dan SCADA pada sistem pengisian air otomatis, *Electrices* vol. 4 no. 2. <https://doi.org/10.32722/ees.v4i2.4679>
- Prasetya, A. M., & Santoso, H. (July 2018). Implementation Of Scalar Control Method For 3 Phase Induction Motor Speed Control, *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)* vol. 3 no. 1, 63–69. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v3i1.19460>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (April 2023). The Future of the Human–Machine Interface (HMI) in Society 5.0, *MDPI, Future Internet* 15(5) 162. <https://doi.org/10.3390/fi15050162>
- Sirait, B. B., Nachrowie, Suprayogi. (2024). Rancang Bangun Penegang Baji Tutup Meriam 57mm/S-60 Berbasis Arduino Uno Dan Sensor *Proximity*. Seminar Nasional Fortei Regional 7, vol. 1 no. 1.

Enhancing School Efficiency with A Web-Based E-Reporting System

[Peningkatan Efisiensi Sekolah dengan Sistem E-Reporting Berbasis Web]

Monika Karnadi¹⁾, Priskila Christine Rahayu^{1*)}, Christopher Nata¹⁾

¹⁾Universitas Pelita Harapan, Tangerang, Indonesia

*Author correspondence: priskila.christine@uph.edu

ABSTRACT

The education sector, a crucial component of the service industry, faced significant challenges in improving operational optimization, particularly in administrative processes. Managing grades and preparing report cards often presented a substantial workload for educators, especially in SMA Santa Patricia. This study aimed to develop an integrated web-based e-Report system to optimize operations by addressing ineffectiveness, inefficiencies, and human error. The system was developed using the System Development Life Cycle (SDLC) framework with a prototyping model. Usability testing through the Computer System Usability Questionnaire (CSUQ) demonstrated improvements, including a 12% increase in effectiveness and an 8% enhancement in efficiency. Additionally, paired T-test results revealed notable gains in system usefulness (14%), information quality (13%), interface quality (14%), and overall system performance (13%) compared to the previous Microsoft Excel-based system. These results underscore the critical role of integrated systems in streamlining operations within the service industry.

Keywords : *administrative processes; report card management; school operations; usability testing; web-based system*

ABSTRAK

Sektor pendidikan, sebagai bagian penting dari industri jasa, menghadapi tantangan besar dalam mengoptimalkan operasional, khususnya dalam proses administrasi. Pengelolaan nilai dan penyusunan rapor sering kali menjadi beban kerja yang cukup besar bagi para pendidik, terutama di SMA Santa Patricia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem e-Rapor berbasis web yang terintegrasi guna mengoptimalkan operasional dengan mengatasi ketidakefisienan, ketidakefektifan, dan kesalahan manusia. Sistem ini dikembangkan menggunakan kerangka kerja System Development Life Cycle (SDLC) dengan model prototyping. Uji kegunaan yang dilakukan melalui Computer System Usability Questionnaire (CSUQ) menunjukkan adanya peningkatan, termasuk peningkatan efektivitas sebesar 12% dan efisiensi sebesar 8%. Selain itu, hasil paired T-test mengungkapkan peningkatan yang signifikan dalam kegunaan sistem (14%), kualitas informasi (13%), kualitas antarmuka (14%), dan kinerja sistem secara keseluruhan (13%) dibandingkan dengan sistem sebelumnya yang berbasis Microsoft Excel. Hasil ini menegaskan peran penting sistem terintegrasi dalam menyederhanakan operasional di sektor jasa.

Kata kunci : *manajemen rapor; operasi sekolah; pengujian kegunaan; proses administrasi; sistem berbasis web*

INTRODUCTION

In recent years, the increasing complexity of administrative tasks within educational institutions has presented significant challenges for educators. Beyond their primary responsibilities of teaching, mentoring, and guiding students, teachers are frequently burdened with additional tasks, such as compiling student performance reports, managing academic data, documenting extracurricular activities, and preparing project evaluations. These responsibilities often demand significant time and energy, detracting from their ability to focus on delivering high-quality learning experiences (Rosyada et al., 2024). Moreover, the reliance on manual processes, such as using separate spreadsheet templates for different roles, exacerbates ineffectiveness, inefficiencies, and increases the likelihood of human error, including data mismatches, formula errors, and misplaced entries. The case of SMA Santa Patricia exemplifies these challenges, as the school currently relies on manual methods for processing student performance data and generating comprehensive, ready-to-print academic reports. Teachers, many of whom hold multiple roles, must independently manage and consolidate data using Microsoft Excel templates. This decentralized approach creates bottlenecks in workflow, delays in

report preparation, and frequent errors due to the repetitive and error-prone nature of manual data handling. Such ineffectiveness and inefficiencies not only increase the administrative burden on educators but also impact the overall quality and accuracy of student performance reporting. (Mbawala et al., 2024) The growing demand for efficient and accurate data processing in education underscores the importance of adopting technology-driven solutions (Febriyanto et al., 2020).

Previous research has shown that leveraging information systems, such as e-Reporting system, can streamline administrative processes, improve data accuracy, and reduce human error, thereby enabling educators to allocate more time to instructional activities (Forrester, 2019). Technology has driven an educational revolution, shifting from traditional methods to modern and more effective learning approaches. In educational organization management, optimizing technology is crucial for enhancing effectiveness and efficiency in data and information management (Fadillah et al., 2024). Technology, which enables system integration, in particular have been demonstrated to be effective solutions due to their ability to process data accurately and efficiently, allowing educators and educational staff to save time and effort in

managing administrative tasks within schools (Forrester, 2019).

This study aims to develop an integrated e-Reporting system, which consolidates various processes involved in data management and academic reporting into a single, web-based platform. The proposed system will automate key tasks, such as inputting, processing, and consolidating student performance data, ensuring that the final reports are accurate and compliant with institutional standards. By simplifying complex workflows and reducing reliance on manual methods, the system is expected to enhance the effectiveness, efficiency, and accuracy of administrative activities while minimizing errors. The significance of this research lies in its potential to address persistent administrative challenges in education by introducing an innovative, technology-based solution. The proposed e-Reporting system not only provides a practical tool for SMA Santa Patricia but also serves as a

model for other institutions seeking to optimize their data management and reporting processes. By reducing administrative workloads, enhancing operational efficiency, improving effectiveness, and minimizing human error, this study contributes to the broader effort of empowering educators to focus on their primary mission: delivering high-quality education.

RESEARCH METHOD

This study adopted the Systems Development Life Cycle (SDLC) with a prototyping model (Fig. 1) as the system development approach, which was carried out in four main stages: planning, analysis, design, and implementation (Dennis et al., 2012) during October to November 2024. Additionally, a quantitative research methodology was employed during the implementation stage to evaluate the improvements achieved by the proposed e-Reporting system.

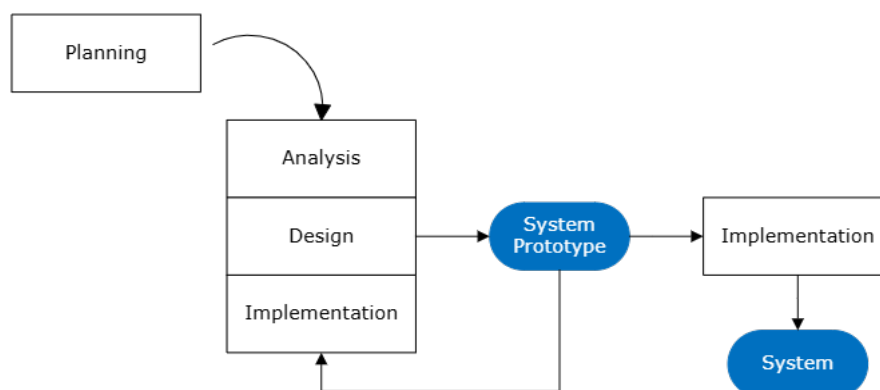


Figure 1. Prototyping Model of SDLC

Creating System Prototype

The first stage, planning, aimed to understand the necessity of the e-Reporting system and outline how it should be developed. A system request was created, and a feasibility study was conducted to evaluate both technical and organizational feasibility. Following this, a prototyping model was employed to develop a minimal feature system prototype based on the gathered requirements. This iterative approach bridged the gap between the school's expectations and the system design, providing clearer feedback as users initially struggled to articulate their requirements during the planning phase. As a result of time constraints, the analysis and design stages of the prototype were carried out by a third-party developer, while this study focused on analyzing, refining the design, and implementing the proposed system.

Development of the Proposed System

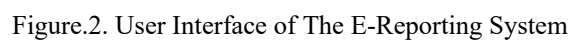
Based on user feedback from the prototype, the proposed system was reanalyzed, redesigned, and implemented to address shortcomings and incorporate additional features. The analysis stage identified the system's intended users, its functionality, and its operational environment. Business processes and rules from the existing system were modeled

using tools such as business process model & notation (BPMN), use case diagram, context diagram, data flow diagrams (The DFD consist of 24 processes and 30 datastores), and entity relationship diagrams (ERD) (Dennis et al., 2012). A comparison between the previous unintegrated system (current system) and the e-Reporting system (proposed system) was conducted to highlight areas needing improvement.

The design stage focused on defining the operational aspects of the system, including hardware, software, network infrastructure, user interfaces, forms, and reports. In the implementation stage, the system was developed using PHP (Laravel framework) for backend development, HTML and Javascript for the frontend, and MySQL for the database, supported by Apache as the web server. Functional testing, specifically black-box testing, was conducted to validate the system's performance, involving all the full-time teachers and educational staffs in SMA Santa Patricia.

This e-Reporting system is developed as a web-based system because it offers greater accessibility, flexibility, and efficiency compared to traditional desktop-based solutions as Fig. 2. A web-based approach allows users to access the system anytime and from any location with an internet

data inconsistencies. By leveraging these advantages, the e-Reporting system enhances operational efficiency, streamlines administrative tasks, and improves the overall accuracy and usability of academic reporting within educational institutions.



The improvement resulting from the proposed web-based e-Reporting system was evaluated through a comparative analysis of the current system and the proposed system using the Computer System Usability Questionnaire (CSUQ). The CSUQ, a standardized instrument, assessed overall performance and three key performance indicators, including System Usefulness (SysUse), Information Quality (InfoQual), and Interface Quality (IntQual), using a 7-point Likert scale, where 1 indicated "strongly disagree" and 7 indicated "strongly agree" (Sitorus et al., 2023). The list of CSUQ questions is provided in Table 1 (Lewis, 1995).

Indicator	Code	Statement	
Overall	S1	Overall, I am satisfied with how easy it is to use this system.	
	S2	It is simple to use this system.	
	S3	I can effectively complete my work using this system.	
	S4	I am able to complete my work quickly using this system.	
	S5	I am able to efficiently complete my work using this system.	
	S6	I feel comfortable using this system.	
	S7	It was easy to learn to use this system.	
	S8	I believe I became productive quickly using this system.	
	InfoQual	S9	The system gives error messages that clearly tell me how to fix problems.
		S10	Whenever I make a mistake using the system, I recover easily and quickly.
		S11	The information provided with this system is clear.

	S12	It is easy to find the information I need.
	S13	The information provided with the system is easy to understand.
	S14	The information is effective in helping me complete my work.
	S15	The organization of information on the system screens is clear.
IntQual	S16	The interface of this system is pleasant.
	S17	I like using the interface of this system.
	S18	This system has all the functions and capabilities I expect it to have.
	S19	Overall, I am satisfied with this system

The questionnaire was completed by 13 participants, including teachers and administrative staff, who had functionally tested the system. To statistically evaluate the improvements, a paired t-test was performed to compare the CSUQ results of the previous system and the proposed system, with a significance level (α) set at 0.05. The hypothesis for the paired t-test was as follows (Nuryadi et al., 2017):

1. If the significance value (Sig.) is < 0.05 , the null hypothesis (H_0) is rejected, indicating a significant difference between the two systems.
2. If the significance value (Sig.) is > 0.05 , the null hypothesis (H_0) fails to be rejected, indicating no significant difference between the two systems.

RESULT AND DISCUSSION

Blackbox Testing

Black-box testing, also known as specification-based testing, is a software testing method where the internal structure, implementation, or design of the system is not known to the tester. Instead, the system is evaluated solely based on its inputs and expected outputs, ensuring that functional requirements are met. This approach treats the system as a "black box," focusing on whether the software behaves as intended without considering its internal workings (Jorgensen, 2014).

The functional testing of the system using black-box testing demonstrated that all features of the integrated web-based e-Reporting system operated successfully. Table 2 show that a total of 26 key features were tested and were confirmed to have passed (P) the evaluation, indicating that the system met the expected functional requirements during the trial phase.

Table 2. Blackbox Testing Result

No	Admin	Status	Teacher	Status
1	Log in	P	Log In	P
2	Manage school data	P		
3	Manage academic year	P		
4	Manage admin data	P		
5	Manage teacher data	P		

6	Manage class data	P		
7	Manage student data	P	Manage student data in particular class (homeroom teacher)	P
8	Manage subject data	P		
9	Manage lesson data	P		
10			Manage learning objectives (subject teachers)	P
11			Manage students' grades (subject teacher)	P
12	Access grade ledger	P	Access grade ledger (homeroom teacher)	P
13		P	Manage attendance (homeroom teacher)	P
14		P	Manage students' development notes (homeroom teacher)	P
15	Manage extracurricular data	P		
16		P	Manage extracurricular members (extracurricular mentor)	P
17		P	Manage students' extracurricular grades (extracurricular mentor)	P
18	Manage target achievement data for P5 profile	P		
19	Manage P5 projects	P		
20	Manage target achievement for P5 projects	P		
21	Manage P5 groups	P		
22	Manage P5 group members	P		
23	Manage selected P5 group projects	P		
24		P	Manages P5 grades (P5 mentor)	P
25	Download ready-to-print report cards	P	Download ready-to-print report cards (homeroom teacher)	P
26	Update profile account	P	Update profile account	P

Effectiveness and Efficiency Comparison

The increase in effectiveness and efficiency in the grading process and report generation was demonstrated by the elimination of several manual business processes through the implementation of the integrated web-based e-Reporting system. The system automated previously time-consuming tasks, such as preparing

and distributing assessment templates, manual data entry using copy & paste across multiple non-integrated Microsoft Excel files, final grade processing and recapitulation, and the generation of ready-to-print reports. As a result, resources such as time and effort spent by users were significantly reduced.

Additionally, the questionnaire results further confirmed these improvements. The use of the integrated web-based e-Reporting system led to an increase in the average effectiveness score (S3) from 5.85 to 6.54 (a 12% improvement) and an increase in the average efficiency score (S5) from 5.92 to 6.38 (an 8% improvement). The simplification of business processes through system integration also contributed to minimizing human errors in grading and report generation, ensuring higher accuracy and reliability in the final outputs.

Paired T-Test Result

The results of the Paired Sample T-Test, as summarized in Tables 3, demonstrate statistically significant differences between the current system and the proposed system across four key performance indicators: Overall, System Usefulness (SysUse), Information Quality (InfoQual), and Interface Quality (IntQual). Each test yielded a two-tailed significance value ($p < 0.001$), which is well below the standard threshold of 0.05. These results indicate that the null hypothesis (H_0), which posits no significant difference between the two systems, must be rejected for all four indicators. Instead, the alternative hypothesis (H_1), which asserts significant differences, is supported.

Table 3. Paired T-Test Result

Indicator	Comparison	n	Descriptive Statistics		Paired T-test		
			Mean	Std. Dev.	t	df	Sig. (2-sided)
Overall	Current system	19	5.76	0.13	-19.70	18	<0.001*
	Proposed system		6.53	0.09			
SysUse	Current system	8	5.74	0.107	-10.75	7	<0.001*
	Proposed system		6.52	0.124			
InfoQual	Current system	7	5.78	0.18	-11.31	6	<0.001*
	Proposed system		6.54	0.07			
IntQual	Current system	3	5.77	0.08	-11.29	2	0.008*
	Proposed system		6.57	0.05			

* $p < 0.05$: significance level

The findings indicate that the proposed system significantly outperforms the current system across all indicators, whose improvements are reflected in the increasing of mean values. In terms of

Overall Performance, the mean score increased from 5.76 for the current system to 6.53 for the proposed system, representing a 13% improvement. This demonstrates that the proposed system

provides substantial enhancements in overall performance. Similarly, for System Usefulness (SysUse), the mean score rose from 5.74 to 6.52, showing a 14% improvement, which highlights the increased functionality and usefulness of the proposed system. In the aspect of Information Quality (InfoQual), the mean score increased from 5.78 to 6.54, reflecting a 13% improvement in the quality of the information delivered by the system. Lastly, Interface Quality (IntQual) saw the average score increase from 5.77 to 6.57, indicating a 14% improvement in the user interface, further enhancing the user experience.

These results emphasize the consistent and significant improvements across all indicators, illustrating that the proposed system provides a clear advantage over the current system in terms of overall performance, usefulness, information quality, and interface quality.

The findings from this study present more than just practical improvements at the institutional level. They also contribute valuable insight to the broader field of industrial engineering, particularly in the domain of service operational optimization, information system design, and human system integration

CONCLUSION

This study demonstrates that the proposed web-based e-Reporting system

significantly improves the grading process compared to the current Microsoft Excel-based system. Functional testing confirmed that all 26 main features work effectively, ensuring the system's reliability. The integration of automated processes has enhanced efficiency by eliminating manual tasks such as preparing templates, copying data, and calculating final grades, thereby reducing user workload and minimizing errors. Questionnaire analysis revealed notable improvements in effectiveness (12%) and efficiency (8%), highlighting the system's ability to optimize resources.

The Paired Sample T-Test results further emphasize the proposed system's superiority. Overall performance improved by 13%, with significant increases in system usefulness (14%), information quality (13%), and interface quality (14%). These findings validate the system's success in enhancing functionality, usability, and user experience.

Future research could focus on measuring tangible resources like time and cost savings, integrating historical data storage for long-term access, and adding features like automated attendance tracking to further expand the system's capabilities.

REFERENCES

- Dennis, A., Wixom, B. H., & Roth, R. M. (2012). *System analysis & design* (5th ed.). Wiley Publishing.

- Fadillah, S. I., Mukhlisin, A., Athirah, N., Jannah, M., & Arini, T. (2024). Peran teknologi dalam optimalisasi manajemen organisasi pendidikan. *Jurnal Motivasi Pendidikan dan Bahasa*, 2(3), 93–105. <https://doi.org/10.59581/jmpb-widyakarya.v2i3.3850>
- Febriyanto, E., Naufal, R. S., & Sulistiawati, S. (2020). Planning of the web-based e-Raport assessment system. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 2(1), 48–58. <https://doi.org/10.34306/att.v2i1.27>
- Forrester, V. V. (2019). School management information systems: Challenges to educational decision making in the big data era. *International Journal on Integrating Technology in Education*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.5121/ijite.2019.8101>
- Jorgensen, P. C. (2014). *Software testing: A craftsman's approach* (4th ed.). CRC Press Taylor & Francis Group. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/6756758/>
- Lewis, J. R. (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57–78. <https://doi.org/10.1080/10447319509526110>
- Nuryadi, T. D. A., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). *Buku ajar dasar-dasar statistik penelitian*.
- Mbawala, J. J., Lestari, S., & Mwakalindile, A. (2024). The impact of educational management information systems (EMIS) on effective school management in Tanzania. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(4), 1878–1885. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.7033>
- Rosyada, A., Syahada, P., & Chanifudin, C. (2024). Kurikulum Merdeka: Dampak peningkatan beban administrasi guru terhadap efektivitas pembelajaran. *Jurnal Inovasi, Evaluasi dan Pengembangan Pembelajaran (JIEPP)*, 4(2), 238–244. <https://doi.org/10.54371/jiepp.v4i2.491>
- Sitorus, Y., Astiti, S., & Setyadi, R. (2023). Evaluation of the level of usefulness of the 'Jeknyong' application using the Computer System Usability Questionnaire (CSUQ) method. *Journal of Informatics Information System Software Engineering and Applications (INISTA)*, 5(2), 92–103. <https://doi.org/10.20895/inista.v5i2.1004>
- Suryandani, F., Basori, B., & Maryono, D. (2017). Pengembangan sistem informasi akademik berbasis web sebagai sistem pengolahan nilai siswa di SMK Negeri 1 Kudus. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, 10(1), 71. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i1.14976>

Pemanfaatan Kolagen Limbah Ikan Tuna dalam Meningkatkan Pertumbuhan *Bacillus Subtilis* sebagai Kandidat Probiotik

[Utilization of Collagen From Tuna Fish Waste to Enhance The Growth of *Bacillus Subtilis* as A Probiotic Candidate]

Suawa Natania Abigail Christy¹, Accoladea Wijaya¹, Angela Clarita Putri¹, Jennifer Claudia Suryadi¹, Cecilia Aileen Yap¹, Chelsea Valeria Simamora¹, Jennifer Patricia Tjhajadi¹, Celeste Abigail Thanos¹, Gisella Theodora¹, Michella Irawan², Veronica Tammy Soputro², Adrian Samuel Thenoch², Reinhard Pinontoan¹ dan Juandy Jo^{1,3*}

¹Program Studi Biologi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Pelita Harapan, Tangerang 15811, Banten

²P.T. Collabit Sukses Bersama, Bitung 95511, Sulawesi Utara

³Mochtar Riady Institute for Nanotechnology, Tangerang 15811, Banten

*Korespondensi penulis: juandy.jo@uph.edu

ABSTRACT

*Probiotics are a group of bacteria with health benefits, which are widely used in various nutritional products. Various efforts are made to effectively increase growth of probiotics, including adding supplemental nutrition, such as protein. In this study, a series of tests were conducted (optical density, colony forming unit, and pH test) to evaluate the effect of collagen hydrolysate supplementation, obtained from tuna waste, on the growth of *Bacillus subtilis* G8, a candidate of probiotic bacteria which have been isolated from the Japanese traditional food natto. The results demonstrated positive impacts of collagen hydrolysate supplementation on cell density and colony-forming units, as well as on the reduction of pH of bacterial growth medium. Concentration of 5% was observed as the most optimum concentration to support the bacterial growth, while the most acidic pH of bacterial growth medium is observed at 3% supplementation. In conclusion, supplementation of collagen hydrolysate derived from tuna waste supported the growth of *B. subtilis* G8 as well as reduced the pH of its growth media.*

Keywords: *Bacillus subtilis*; collagen hydrolysate; growth; probiotics; tuna waste.

ABSTRAK

Probiotik merupakan sekelompok bakteri yang memiliki manfaat kesehatan dan banyak digunakan dalam berbagai produk nutrisi. Beragam upaya telah dilakukan untuk secara efektif meningkatkan pertumbuhan probiotik, salah satunya melalui penambahan nutrisi tambahan seperti protein. Dalam penelitian ini, serangkaian uji dilakukan, meliputi uji kerapatan optik, unit pembentuk koloni (CFU), dan pengukuran pH, untuk mengevaluasi pengaruh suplementasi kolagen hidrolisat yang diperoleh dari limbah ikan tuna terhadap pertumbuhan *Bacillus subtilis* G8, yakni kandidat bakteri probiotik yang diisolasi dari makanan tradisional Jepang, *natto*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suplementasi kolagen hidrolisat memberikan dampak positif terhadap kerapatan sel dan jumlah koloni, serta menyebabkan penurunan pH medium pertumbuhan bakteri. Konsentrasi 5% diketahui sebagai konsentrasi yang paling optimal dalam mendukung pertumbuhan bakteri, sedangkan pH terendah pada medium pertumbuhan tercatat pada konsentrasi suplementasi sebesar 3% ($5,51 \pm 0,55$). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suplementasi kolagen hidrolisat yang berasal dari limbah ikan tuna mampu mendukung pertumbuhan *B. subtilis* G8 serta menurunkan pH media pertumbuhannya.

Kata kunci: *Bacillus subtilis*; hidrolisat kolagen; limbah ikan tuna; pertumbuhan; probiotik.

PENDAHULUAN

Probiotik merupakan kumpulan berbagai jenis bakteri yang memberikan kontribusi positif bagi kesehatan bila dikonsumsi dalam jumlah yang sesuai ketentuan (World Health Organization, 2001; Leñini *et al.*, 2023), seperti menekan pertumbuhan patogen, membantu produksi vitamin, serta meningkatkan respon imun (Binda *et al.*, 2020). Beberapa golongan probiotik, seperti *Bifidobacterium species*, *Lactiplantibacillus plantarum* serta *Bacillus subtilis* telah diidentifikasi sebagai probiotik yang memiliki peran penting dalam perkembangan mikrobiota pencernaan manusia sejak dilahirkan (Pantazi *et al.*, 2023).

Secara lebih khusus, *Bacillus subtilis* diketahui dapat menghasilkan efek antioksidan, antimikrobal dan *immuno-modulatory*. Bakteri ini merupakan bakteri Gram positif, aerobik atau anaerobik fakultatif, dapat membentuk spora, berbentuk batang, serta dapat diisolasi dari berbagai sumber, seperti tanah, makanan dan saluran pencernaan. *B. subtilis* merupakan salah satu bakteri probiotik yang banyak ditemukan dalam berbagai produk makanan dan minuman, serta preparat farmasi karena kemampuannya dalam membentuk endospora, sehingga mampu bertahan di dalam lingkungan yang

tidak bersahabat (Elshaghabee *et al.*, 2017).

B. subtilis strain G8 merupakan salah satu *B. subtilis* yang berpotensi dimanfaatkan dalam industri makanan fungsional. Strain ini merupakan salah satu koleksi bakteri dari laboratorium Program Studi Biologi Universitas Pelita Harapan yang diisolasi dari natto, makanan fermentasi tradisional Jepang (Lucy *et al.*, 2019). Hasil pengujian aktivitas fibrinolitik secara *in vitro* dan *whole-genome sequencing* (WGS) menunjukkan adanya aktivitas fibrinolitik yang signifikan dari *B. subtilis* G8 (Dikson *et al.*, 2022; Pinontoan *et al.*, 2021).

Beberapa produk berisikan probiotik dikombinasikan dengan senyawa-senyawa lain, seperti kolagen karena diketahui memiliki efek positif bagi kesehatan. Kolagen merupakan salah satu protein utama yang diproduksi oleh tubuh dan berperan sebagai komponen penyusun utama dari kulit, tendon dan tulang serta mendukung pertumbuhan sel (Bianchi *et al.*, 2022; Geahchan *et al.*, 2022). Salah satu penelitian menunjukkan adanya interaksi positif antara kolagen dan proses fermentasi susu yang dimediasi oleh probiotik (Szopa *et al.*, 2022). Selain diproduksi secara alami oleh tubuh, beberapa jenis kolagen juga dapat diperoleh dari organisme yang hidup di

laut, seperti dari ikan, spons dan ubur-ubur (Avila-Rodríguez, 2017).

Indonesia merupakan salah satu negara produsen boga bahari terbesar di dunia, seperti ikan tuna. Indonesia diketahui menyuplai hingga 19,1% dari pasokan tuna global, atau setara dengan sekitar 1,5 juta ton ikan (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2024). Meskipun demikian, hanya bagian-bagian tertentu ikan tuna yang dikonsumsi sebagai makanan, sementara setengah bagian lainnya (seperti jeroan, kepala, kulit, tulang, sirip, atau ekor) dianggap sebagai produk sampingan (Najoan, 2019). Ironisnya, produk sampingan yang tidak dimanfaatkan ini dianggap sampah dan dibuang begitu saja sehingga meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan industri perikanan. Limbah tersebut akan menyebabkan permasalahan karena dapat melepaskan senyawa metana ke atmosfer. Selain itu, minimnya kesadaran dari oknum tertentu yang membuang limbah ikan ke laut dapat memicu berbagai permasalahan lingkungan, dimulai dari peningkatan keasaman laut dan kadar amonia, akumulasi alga atau plankton, penipisan oksigen di laut, yang akhirnya menyebabkan penurunan populasi kehidupan laut (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Buleleng, 2022; Edwards *et al.*, 2024). Oleh karena itu, berbagai upaya pengurangan limbah

ikan perlu dilakukan. Salah satu caranya adalah dengan memroses produk sampingan ikan tuna secara efisien menjadi hidrolisat kolagen ikan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan.

Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah menambahkan kolagen ke dalam medium untuk mendukung pertumbuhan probiotik. Namun, efek positif yang ditimbulkan dari penambahan hidrolisat kolagen dalam mendukung pertumbuhan bakteri probiotik masih belum diketahui dengan jelas, sehingga perlu dievaluasi lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi pemanfaatan hidrolisat kolagen, sebagai produk sampingan dari ikan tuna, dalam mendukung pertumbuhan kandidat bakteri probiotik *B. subtilis* G8.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: medium *Nutrient Broth* (Merck, Jerman) dan *bacteriological agar* (Himedia, India).

Alat

Alat yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis (Thermo Scientific GENESYS 50, Amerika Serikat), inkubator (Mettler IN75, Jerman), *refrigerated centrifuge* (BioRad,

Amerika Serikat), pH meter (SI Analytics Lab 845, Jerman), dan *laminar air flow* (Esco LHS 4AG, Amerika Serikat).

Sampel

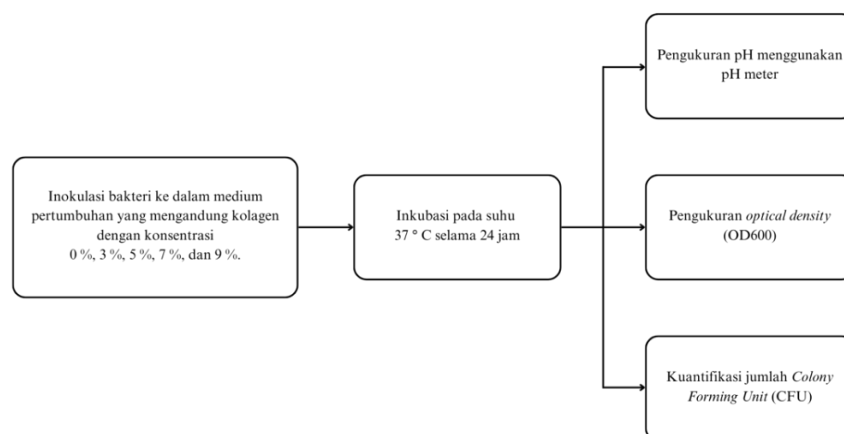
Sampel yang digunakan adalah isolat *Bacillus subtilis* G8, yang merupakan koleksi Program Studi Biologi yang diisolasi dari makanan tradisional Jepang natto (Lucy *et al.*, 2019). Hidrolisat kolagen murni dari sisa ikan tuna disediakan oleh P.T. Collabit Sukses Bersama (Bitung, Sulawesi Utara).

Kultur isolat *Bacillus subtilis*

Isolat bakteri *B. subtilis* G8 ditumbuhkan dalam media *nutrient broth* pada suhu 37 °C selama 24 jam. Setelah waktu inkubasi selesai, dilakukan pengukuran *optical density* (OD) dari sel bakteri dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 600 nm.

Uji pertumbuhan bakteri

Isolat *B. subtilis* G8 diinokulasikan ke dalam media pertumbuhan yang telah disuplementasi hidrolisat kolagen dengan konsentrasi 3, 5, 7 atau 9 % (weight/volume). Sebagai pembanding/kontrol, medium tanpa suplementasi hidrolisat kolagen dipergunakan. Isolat bakteri ditumbuhkan selama 24 jam pada suhu 37 °C. Selanjutnya, dilakukan pengukuran OD pada panjang gelombang 600 nm (OD₆₀₀) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan pH larutan menggunakan pH meter (**Gambar 1**). Kemudian, dilakukan dilusi bertingkat (10^{-9} – 10^{-10}) pada larutan untuk perhitungan *colony forming unit* (CFU). Pengulangan sebanyak tiga kali dilakukan untuk masing-masing pengujian.



Gambar 1. Alur penelitian pengujian penambahan berbagai konsentrasi hidrolisat kolagen. Parameter penilaian setelah *Bacillus subtilis* strain G8 ditumbuhkan pada suhu 37oC selama 24 jam meliputi pengukuran pH, pengukuran OD₆₀₀, serta kuantifikasi bakteri hidup dalam *colony-forming unit*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bacillus subtilis merupakan probiotik yang banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti industri makanan, sehingga berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan produksi bakteri ini secara efektif (Mohamadzadeh & Abbaspour, 2022). Pada penelitian ini, dilakukan analisis kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh suplementasi hidrolisat kolagen terhadap pertumbuhan isolat *B. subtilis* G8. Salah satu metode evaluasi yang digunakan adalah pengukuran *optical density* pada panjang gelombang 600 nm (OD_{600}) yang merepresentasikan kepadatan bakteri ini dalam media pertumbuhannya. Hasil yang diperoleh dari pengukuran OD_{600} menunjukkan bahwa konsentrasi bakteri pada medium kultur yang

disuplementasi oleh hidrolisat kolagen (3, 5, 7, serta 9%) setidaknya menghasilkan nilai absorbansi dua kali lipat lebih tinggi daripada konsentrasi bakteri pada medium tanpa suplementasi hidrolisat kolagen (kontrol). Bakteri yang disuplementasi dengan hidrolisat kolagen 9% menunjukkan hasil OD_{600} tertinggi, yaitu $0,67 \pm 0,15$. Hasil pengamatan juga menunjukkan nilai OD_{600} antara penambahan dengan berbagai konsentasi hidrolisat kolagen tidak berbeda jauh dan masih di dalam rentang variasi. Hasil ini mengindikasikan adanya pengaruh positif suplementasi hidrolisat kolagen terhadap peningkatan pertumbuhan kandidat probiotik *B. subtilis* G8. Hasil pengukuran OD_{600} dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil perhitungan rerata *optical density* 600 nm (OD_{600}) pada masing-masing perlakuan

Perlakuan	Rerata $OD_{600} \pm SE$
NB	$0,23 \pm 0,06$
NB + 3% hidrolisat kolagen	$0,58 \pm 0,08$
NB + 5% hidrolisat kolagen	$0,61 \pm 0,09$
NB + 7% hidrolisat kolagen	$0,57 \pm 0,09$
NB + 9% hidrolisat kolagen	$0,67 \pm 0,15$

Keterangan: Medium *nutrient broth* (NB) adalah medium yang digunakan untuk menumbuhkan isolat bakteri; sedangkan 3, 5, 7 dan 9% merupakan konsentrasi hidrolisat kolagen yang ditambahkan ke dalam media NB. Kontrol adalah media NB tanpa penambahan hidrolisat kolagen. Nilai OD_{600} merupakan nilai rata-rata dari hasil pengujian spektrofotometer dengan pengulangan sebanyak tiga kali. SE, *standard error*.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *colony-forming unit* (CFU) yang merepresentasikan jumlah sel bakteri yang hidup (Wendel, 2022). Perhitungan CFU

akan menunjukkan jumlah bakteri hidup yang lebih akurat dibandingkan pengukuran OD_{600} yang notabene mengukur refraksi cahaya atau kekeruhan

media pertumbuhan (Hazan *et al.*, 2012). Perhitungan CFU menunjukkan adanya peningkatan jumlah koloni bakteri *B. subtilis* G8 yang ditumbuhkan dalam medium kultur NB dengan suplementasi hidrolisat kolagen. **Tabel 2** menunjukkan nilai CFU tertinggi diperoleh pada kultur bakteri yang disuplementasi hidrolisat kolagen 5% dengan rerata $7,87 \times 10^{11}$

CFU/mL, sementara pertumbuhan bakteri terendah didapatkan pada kultur bakteri tanpa suplementasi hidrolisat kolagen ($3,10 \times 10^{11}$ CFU/mL). Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi 5% merupakan konsentrasi yang paling optimum dalam meningkatkan kepadatan sel bakteri.

Tabel 2. Rerata hasil perhitungan *colony-forming unit* (CFU) pada masing-masing perlakuan

Perlakuan	CFU		
	10^{-9}	10^{-10}	Rerata
NB	$1,6 \times 10^{11}$	$0,8 \times 10^{12}$	$3,10 \times 10^{11}$
NB + 3% hidrolisat kolagen	$2,6 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^{12}$	$5,07 \times 10^{11}$
NB + 5% hidrolisat kolagen	$3,6 \times 10^{11}$	$2,0 \times 10^{12}$	$7,87 \times 10^{11}$
NB + 7% hidrolisat kolagen	$3,0 \times 10^{11}$	$1,2 \times 10^{12}$	$6,07 \times 10^{11}$
NB + 9% hidrolisat kolagen	$5,6 \times 10^{11}$	$1,0 \times 10^{12}$	$5,93 \times 10^{11}$

Keterangan: NB merupakan medium *nutrient broth* yang digunakan untuk menumbuhkan isolat bakteri; 3, 5, 7 dan 9% merupakan konsentrasi hidrolisat kolagen yang digunakan dalam perlakuan atau ditambahkan dalam media NB. Hidrolisat kolagen tidak ditambahkan pada kontrol (hanya NB). 10^{-9} dan 10^{-10} adalah faktor dilusi yang digunakan untuk perhitungan CFU. Nilai yang tercantum pada hasil untuk masing-masing faktor dilusi merupakan hasil perhitungan CFU dengan pengulangan sebanyak tiga kali. CFU, *colony-forming unit*.

Selain melakukan pengukuran OD₆₀₀ dan perhitungan CFU, observasi perbedaan pH larutan medium yang diberi perlakuan dibandingkan dengan kontrol juga dilakukan untuk melihat pengaruh suplementasi hidrolisat kolagen terhadap pH larutan medium. Bila dibandingkan dengan kontrol, suplementasi hidrolisat kolagen berdampak pada penurunan pH

medium menjadi lebih asam. Meskipun demikian, tidak dijumpai perbedaan pH yang substansial diantara keempat perlakuan konsentrasi hidrolisat kolagen yang ditambahkan ke dalam medium. **Tabel 3** menunjukkan bahwa pH yang paling asam diamati pada larutan medium kultur yang disuplementasi hidrolisat kolagen dengan konsentrasi 3%.

Tabel 3. Rerata hasil pengukuran pH pada masing-masing perlakuan

Perlakuan	Rata-rata pH $\pm$ SE
NB	6,93 $\pm$ 0,72
NB + 3 % hidrolisat kolagen	5,51 $\pm$ 0,55
NB + 5 % hidrolisat kolagen	5,95 $\pm$ 0,45
NB + 7 % hidrolisat kolagen	5,55 $\pm$ 0,47
NB + 9 % hidrolisat kolagen	5,83 $\pm$ 0,35

Keterangan: NB merupakan medium *nutrient broth* yang digunakan untuk menumbuhkan isolat bakteri; 3, 5, 7 dan 9% merupakan konsentrasi hidrolisat kolagen yang digunakan dalam perlakuan atau ditambahkan dalam media NB. Sedangkan hidrolisat kolagen tidak ditambahkan pada kontrol. Nilai yang tercantum pada data pengukuran pH merupakan nilai rata-rata dari hasil perhitungan pH dengan pengulangan sebanyak tiga kali. SE, *standard error*.

Hasil yang diperoleh dari hasil pengukuran OD₆₀₀, perhitungan CFU, serta pengukuran pH menunjukkan adanya pengaruh positif dari suplementasi hidrolisat kolagen terhadap pertumbuhan kandidat bakteri probiotik *B. subtilis* G8 di media NB. Berdasarkan hasil yang diperoleh, suplementasi hidrolisat kolagen dengan konsentrasi 5% diduga memiliki pengaruh paling optimum dalam meningkatkan pertumbuhan sel bakteri. Hasil ini sesuai dengan penelitian Szopa *et al.* (2022) yang mengevaluasi pengaruh suplementasi kolagen terhadap proses fermentasi susu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan kolagen berdampak positif terhadap proses fermentasi susu serta efek yang paling optimum diamati pada kultur bakteri yang disuplementasi dengan 5% kolagen. Penelitian Szopa *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa produksi asam laktat tertinggi (mengakibatkan penurunan pH

terbesar) diamati pada larutan yang disuplementasi hidrolisat kolagen dengan konsentrasi 3%, dimana hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini.

Pengaruh positif dari suplementasi kolagen dalam pertumbuhan kandidat probiotik *B. subtilis* G8 diduga dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi yang merangsang produksi produk-produk tertentu yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri tersebut. Nutrisi merupakan salah satu kebutuhan utama bakteri untuk tumbuh dan berfungsi dengan optimal (Kumar & Pundir, 2021). Keberadaan hidrolisat kolagen dalam larutan media akan berfungsi sebagai sumber nitrogen tambahan, salah satu nutrisi makro esensial bagi pertumbuhan bakteri, dalam bentuk peptida kecil. Keberadaan peptida kecil kemudian memicu *B. subtilis* untuk memproduksi *short-chain fatty acids* (SCFA), seperti asetat, propionat, dan butirat. Ketiga produk ini merupakan

SCFA penting untuk menunjang pertumbuhan bakteri, khususnya bakteri-bakteri probiotik yang tinggal di usus (Mei *et al.*, 2020; Kumar & Pundir, 2021; Fusco *et al.*, 2023). Dengan adanya peningkatan sumber nitrogen, sel bakteri terpicu untuk menghasilkan lebih banyak SCFA yang menyebabkan melimpahnya nutrisi penunjang pertumbuhan dan kondisi lingkungan yang lebih ideal untuk bermultiplikasi.

Satu hal yang menarik untuk dikaji lebih lanjut adalah membandingkan efek dari suplementasi kolagen terhadap suplementasi protein total. Walaupun suplementasi kolagen memberikan dampak positif untuk pertumbuhan bakteri benefisial dalam penelitian ini dan penelitian lainnya (Baek *et al.*, 2023), kolagen hanya mengandung 19 asam amino (Gauza-Włodarczyk *et al.* 2017) sehingga mungkin dapat menjadi keterbatasan dalam menggunakan hidrolisat kolagen dalam menunjang pertumbuhan bakteri ketika dibandingkan dengan suplementasi protein total. Namun, suplementasi protein total dalam jangka waktu lama dilaporkan dapat mengurangi pertumbuhan bakteri baik dalam usus manusia (Moreno-Pérez *et al.* 2018). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk menjawab pertanyaan ini.

Selain nutrisi, pH merupakan faktor penting lain yang memengaruhi pertumbuhan bakteri. Adanya penurunan pH larutan medium menunjukkan adanya pengaruh suplementasi hidrolisat kolagen terhadap aktivitas *B. subtilis*. Penurunan pH ini kemungkinan besar disebabkan adanya produksi asam laktat dan/atau SCFA oleh *B. subtilis* (Fritze & Claus, 1995; Foucher & Tubben, 2023).

Sebagai bakteri probiotik yang mampu membentuk spora, *B. subtilis* memiliki toleransi yang tinggi terhadap pH yang rendah serta memiliki kemampuan adhesi pada protein matriks, seperti *fibronectin* dan kolagen (Leñini *et al.*, 2023). Kemampuan ini menyebabkan *B. subtilis* mampu bertahan hidup lain lebih baik pada kondisi asam. Disisi lain, penurunan pH dapat menciptakan kondisi lingkungan yang kurang baik bagi golongan bakteri lain, misalnya golongan bakteri patogen, seperti *Listeria monocytogenes* yang tumbuh optimal pada pH yang cenderung netral. Akibatnya, bakteri-bakteri lain yang lebih sensitif dan tidak resisten terhadap perubahan pH lingkungan tidak dapat berkompetisi dan akan tereleminasi oleh pH asam, sementara *B. subtilis* yang memiliki toleransi lebih tinggi terhadap pH asam dapat tetap hidup. Hal ini menyebabkan *B. subtilis* dapat mengkolonisasi dan memanfaatkan nutrisi

dalam larutan media sehingga berimplikasi pada peningkatan pertumbuhannya. Oleh karena itu, kemampuan bakteri *B. subtilis* dalam menoleransi pH asam menjadi salah satu karakteristik unik yang dapat dimaksimalkan untuk meningkatkan fungsinya sebagai bakteri probiotik, terutama dengan adanya suplementasi hidrolisat kolagen yang diberikan dalam larutan medium (Setiani *et al.*, 2019; Kumar & Pundir, 2021).

KESIMPULAN

Suplementasi hidrolisat kolagen yang berasal dari sisa ikan tuna memberikan dampak positif dalam meningkatkan densitas sel *B. subtilis* G8. Suplementasi hidrolisat kolagen ke dalam media pertumbuhan juga menyebabkan penurunan pH larutan. Konsentrasi hidrolisat kolagen yang paling optimal dalam penelitian ini adalah 5%.

SARAN

Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan jumlah sampel dan konsentrasi yang diperbesar agar data dapat dievaluasi secara statistik dengan baik. Uji perbandingan dengan kolagen yang didapatkan dari limbah ikan lain (misal ikan air tawar) juga dapat dilakukan untuk menilai kelebihan kolagen limbah ikan tuna. Selain itu, uji lanjutan perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi pengaruh

suplementasi kolagen dibandingkan suplementasi protein total. Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mengkaji efek suplementasi hidrolisat kolagen terhadap bakteri probiotik lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Pelita Harapan (P-13-FaST/VII/2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Avila-Rodríguez, M. I., Rodríguez-Barroso, L. G., & Sánchez, M. L. (2017). Collagen: A review on its sources and potential cosmetic applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 17(1), 20–26. <https://doi.org/10.1111/jocd.12450>
- Baek, G. H., Yoo, K. M., Kim, S. Y., Lee, D. H., Chung, H. Y., Jung, S. C., Park, S. K., & Kim, J. S. (2023). Collagen peptide exerts an anti-obesity effect by influencing the Firmicutes/Bacteroidetes ratio in the gut. *Nutrients*, 15, 2610. <https://doi.org/10.3390/nu15112610>
- Bianchi, F. M., Angelinetta, C., Rizzi, G., Praticò, A., & Villa, R. (2022). Evaluation of the efficacy of a hydrolyzed collagen supplement for improving skin moisturization, smoothness, and wrinkles. *The Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 15(3), 48–52.
- Binda, S., Hill, C., Johansen, E., Obis, D., Pot, B., Sanders, M. E., Tremblay, A., & Ouwehand, A. C. (2020). Criteria to qualify microorganisms as "probiotic" in foods and dietary supplements. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 1662.

- <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01662>
- Dikson, D., Victor, H., Jong, D., Sanjaya, A., Samantha, A., Jo, J., & Pinontoan, R. (2022). Whole-genome analysis of *Bacillus subtilis* G8 isolated from natto. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(3).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230313>
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Buleleng. (2022). *Pengasaman laut serta dampaknya terhadap ekosistem laut*. Pemerintah Kabupaten Buleleng.
https://dlh.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/85_pengasaman-laut-seerta-dampaknya-terhadap-ekosistem-laut
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2024). Ammonia and aquatic ecosystems: A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of The Total Environment*, 907, 167911.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Elshagabee, F. M. F., Rokana, N., Gulhane, R. D., Sharma, C., & Panwar, H. (2017). *Bacillus* as potential probiotics: Status, concerns, and future perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 8, Article 1490.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01490>
- Foucher, C. D., & Tubben, R. E. (2023). *Lactic acidosis*. StatPearls Publishing.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470202/>
- Fritze, D., & Claus, D. (1995). Spore-forming, lactic acid producing bacteria of the genera *Bacillus* and *Sporolactobacillus*. In B. J. B. Wood & W. H. Holzapfel (Eds.), *The genera of lactic acid bacteria: The lactic acid bacteria* (Vol. 2, pp. 359–370). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5817-0_11
- Fusco, W., Lorenzo, M. B., Cintoni, M., Porcari, S., Rinninella, E., Kaitsas, F., ... & Ianaro, G. (2023). Short-chain fatty-acid-producing bacteria: Key components of the human gut microbiota. *Nutrients*, 15(9), 2211.
<https://doi.org/10.3390/nu15092211>
- Gauza-Włodarczyk, M., Kubisz, L., & Włodarczyk, D. (2017). Amino acid composition in determination of collagen origin and assessment of physical factors effects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104(Pt A), 987–991.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.013>
- Geahchan, S., Baharlouei, P., & Rahman, A. (2022). Marine collagen: A promising biomaterial for wound healing, skin anti-aging, and bone regeneration. *Marine Drugs*, 20(1), 61–77.
<https://doi.org/10.3390/md20010061>
- Hazan, R., Que, Y. A., Maura, D., & Rahme, L. G. (2012). A method for high-throughput determination of viable bacterial cell counts in 96-well plates. *BMC Microbiology*, 12, Article 259.
<https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-259>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2024). *Hari Tuna Sedunia, KKP akan tingkatan kualitas dan jangkauan pasar tuna Indonesia*.
<https://kkp.go.id/news/news-detail/hari-tuna-sedunia-kkp-akan-tingkatan-kualitas-dan-jangkauan-pasar-tuna-indonesia.html>

- Kumar, R., & Pundir, S. (2021). Bacterial cell, classification and required essential contents for growth. *Asian Journal of Pharmacy and Technology*, 11(2), 181–187. <https://doi.org/10.52711/2231-5713.2021.00030>
- Leñini, C., Rodriguez, A. F., Goñi, A. J., Rateni, L., Nakamura, A., & Grau, R. R. (2023). Probiotic properties of *Bacillus subtilis* DG101 isolated from the traditional Japanese fermented food natto. *Frontiers in Microbiology*, 14, Article 1253480. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1253480>
- Lucy, J., Raharjo, P. F., Elvina, Florencia, L., Susanti, A. I., & Pinontoan, R. (2019). Clot lysis activity of *Bacillus subtilis* G8 isolated from Japanese fermented natto soybeans. *Applied in Food Biotechnology*, 6, 101–109. <https://doi.org/10.22037/afb.v6i2.22479>
- Mei, F. F., Duan, Z. W., Chen, M. X., Lu, J. F., Zhao, M. H., Li, L. H., Shen, X. R., Xia, G. H., & Chen, S. J. (2020). Effect of a high-collagen peptide diet on the gut microbiota and short-chain fatty acid metabolism. *Journal of Functional Foods*, 75(3), Article 104278. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104278>
- Mohamadzadeh, M., & Abbaspour, S. (2024). Probiotic applications of *Bacillus subtilis*. In H. Razafindralambo (Ed.), *Bacillus subtilis – Functionalities and emerging applications* (pp. xx–xx). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1007134>
- Moreno-Pérez, D., Bressa, C., Bailén, M., Hamed-Bousdar, S., Naclerio, F., Carmona, M., Pérez, M., González-Soltero, R., Montalvo-Lominchar, M. G., Carabaña, C., & Larrosa, M. (2018). Effect of a protein supplement on the gut microbiota of endurance athletes: A randomized, controlled, double-blind pilot study. *Nutrients*, 10, 337. <https://doi.org/10.3390/nu10030337>
- Najoan, M. (2019). *Limbah ikan sebagai pakan ternak*. Fakultas Ilmu Budaya UNSRAT. <https://repo.unsrat.ac.id/4981/1/3.%20Limbah%20Ikan%20Sebagai%20pakan%20Ternak%20%28sebagai%20Editor%29.pdf>
- Pantazi, A. C., Balasa, A. L., Mihai, C. M., Chisnoiu, T., Lupu, V. V., Kassim, M. A. K., ... & Cambrea, S. C. (2023). Development of gut microbiota in the first 1000 days after birth and potential interventions. *Nutrients*, 15(16), 3647. <https://doi.org/10.3390/nu15163647>
- Pinontoan, R., Elvina, Sanjaya, A., & Jo, J. (2021). Fibrinolytic characteristics of *Bacillus subtilis* G8 isolated from natto. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*, 40(3), 144–149. <https://doi.org/10.12938/bmfh.2020-071>
- Setiani, B. E., Pramono, Y. B., & Purwitasari, L. (2019). Review on pathogenic bacteria *Listeria monocytogenes*, the detection and the sequencing gene methods isolated from meat products. *Journal of Applied Food Technology*, 6(2), 44–51. <https://doi.org/10.17728/jaft.6460>
- Szopa, K., Znamirska-Piotrowska, A., Szajnar, K., & Pawlos, M. (2022). Effect of collagen types, bacterial strains, and storage duration on the quality of probiotic fermented sheep's milk. *Molecules*, 27(9), Article 3028. <https://doi.org/10.3390/molecules27093028>
- World Health Organization Expert Consultation. (2001). *Evaluation of*

health and nutritional properties of powder milk and live lactic acid bacteria. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization.
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y63>

Technical Analysis of Prestress Loss in Y Bridge Girders: Post-Tensioning System

[Analisis Teknikal Kehilangan Prategang pada Girder Jembatan Y: Sistem Pascatarik]

Sadvent M Purba^{1*}, Prajna Ardhika²

^{1,2}Civil Engineering Study Program, Pelita Harapan University, Jakarta.

*Author correspondence: sadvent23@gmail.com

ABSTRACT

This study investigates the prestress loss in Girder Y of Bridge Y, which experienced structural inefficiency suspected to be caused by significant prestress loss in its post-tensioning system. The objective is to analyze the magnitude of prestress loss and assess how different influencing factors—such as elastic shortening, friction, anchorage slip, shrinkage, creep, and tendon relaxation—affect it. The analysis was conducted using a technical evaluation approach by varying key parameters including tendon configuration (curved and straight), concrete grade (K-500 and K-600), and web width (0.2000 m and 0.3000 m). Results showed that the total prestress loss ranged from 21.35% to 17.67%, with curved tendons generally experiencing higher loss. However, despite lower losses in straight tendon configurations, the resulting compressive stress during force transfer exceeded permissible limits. Therefore, the curved tendon configuration is considered more suitable for the prestressed concrete design of Girder Y as it meets stress compliance criteria.

Keywords: concrete grade; curved tendon; girder; post-tensioning; prestress

ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji kehilangan gaya prategang pada Girder Y Jembatan Y yang mengalami indikasi ketidakefisienan struktur akibat besarnya kehilangan gaya prategang pada sistem pascatarik yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besarnya kehilangan prategang serta pengaruh enam faktor utama, yaitu pemendekan elastis beton, gesekan, slip ankur, susut, rangkai, dan relaksasi tendon. Analisis dilakukan secara teknis dengan memvariasikan beberapa parameter penting, seperti konfigurasi tendon (melengkung dan lurus), mutu beton (K-500 dan K-600), serta lebar badan girder (0,2000 m dan 0,3000 m). Hasil menunjukkan bahwa total kehilangan prategang berkisar antara 21.35% hingga 17.67%, dengan konfigurasi tendon melengkung cenderung mengalami kehilangan lebih besar. Namun, meskipun konfigurasi tendon lurus menghasilkan kehilangan yang lebih rendah, tegangan tekan saat transfer gaya melampaui batas izin. Oleh karena itu, konfigurasi tendon melengkung dinilai lebih sesuai untuk desain beton prategang pada Girder Y karena memenuhi kriteria batas tegangan yang diizinkan.

Kata kunci : girder; mutu beton; pascatarik; prategang; tendon lengkung

INTRODUCTION

The rapid development of construction science and technology has encouraged many countries, including Indonesia, to utilize prestressed concrete in various buildings, such as high-rise

buildings and bridges. Prestressed concrete has advantages over ordinary concrete because of its ability to withstand tensile forces through the provision of initial tension (Nawy and Suryoatmono, 2001; Lin, 2000). One example of its application is in the Y Bridge Girder.

The Y Bridge Girder is 626.75 meters long, consisting of 14 spans of 35 meters and 3 spans of 15 meters, supported by 16 pillars standing on well foundations. This structure reflects the use of prestressed concrete in providing an efficient solution for long spans (Ilham, 2008).

Prestressed concrete, as explained in SNI 2847:2019, is reinforced concrete that is given initial tension to reduce tensile stress due to external loads (Badan Standardisasi Nasional, 2019). The resulting internal stress helps improve the weakness of concrete in resisting tensile forces, resulting in stronger elements with minimal cracks and significantly reduced deflection (ACI Committee 363, 1992; Raju, 1986). The concrete mixture consists of cement, water, aggregates, and additives, where the proportions of the materials are designed to produce certain characteristics, such as durability and ease of workability, namely high quality above K-500 (Badan Standardisasi Nasional, 2004; Budiandi, 2008).

However, prestressed concrete also has limitations. The manufacturing process requires strict supervision, additional costs for transportation, and the loss of prestressing force is a major challenge (Soetoyo, 2001). Loss of prestressing force, or loss of prestress, is the difference between the initial prestressing force and

the remaining force after some time. This loss is influenced by several factors, including elastic shortening of the concrete, friction, anchor slippage, shrinkage, creep, and tendon relaxation (Darmawan, 2008; Sutarja, 2006; ASTM, 2006).

The process of tensioning reinforcing steel in prestressed concrete creates a compressive force that reduces or eliminates internal tensile forces, increasing the strength of the structural element (ACI Committee 318, 1995). However, the calculation of prestress losses is crucial to determine the amount of prestress required for the structure to carry the load effectively. Mistakes in estimating these losses can have a significant impact on the performance and serviceability of prestressed concrete structures (Lin, 2000; Darmawan, 2008).

In this context, the research on the Y Bridge Girder aims to study the loss of prestressing force and determine the optimal solution so that the prestressed concrete structure can meet the planning standards with maximum efficiency and safety.

METHOD

This research was conducted with several main stages, starting from literature study to technical calculations using systematic methods. The research flowchart

describes the work process flow, starting from data collection, analysis, to interpretation of results.

Literature Study

The literature studies reviewed include theories related to bridges, prestressed concrete, constituent materials, types of prestressed concrete, and prestressing force loss factors. This basic understanding is used to build a strong theoretical foundation in research.

Modulus of Elasticity, Compressive Strength and Tensile Strength

To calculate the modulus of elasticity of concrete, two formulas are used: for concrete with a certain density and for normal concrete. The value of the modulus of elasticity of concrete (E_c) can be calculated using the two formulas below:

$$E_c = \ln_c^{1.5} \times 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

The compressive strength of concrete is determined based on the SNI 03-2847-2002 standard, with testing using cylindrical and cube-shaped test objects. The allowable stress of concrete is calculated based on the prestressing force transfer conditions (3) and service conditions (4) calculated using the formula:

$$\text{Allowable compressive stress} = 0.60 \times f'_{\text{There}} \quad (3)$$

$$\text{Allowable compressive stress} = 0.45 \times f'_c \quad (4)$$

Tensile strength according to RSNI T-12-2004 at the time of prestressing force transfer (5) and service conditions (6) can be calculated using the formula:

$$\text{Tensile stress} = 0.50 \times \sqrt{f'_{\text{There}}} \quad (5)$$

$$\text{Tensile stress} = 0.50 \times \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

Girder Cross Section and Prestressing Force

Calculation of girder cross-section properties includes the location of the center of gravity, moment of inertia, and moment resistance. Calculations are made based on the shape of a rectangular or triangular cross-section using standard formulas. Initial prestressing force calculations are made using formulas referring to the ACI-318 standard. Jacking force is calculated from the breaking load of tendons or strands, which are then correlated with the initial prestressing force to determine the number of tendons or strands required.

According to ACI-318, the magnitude of the initial prestressing force due to jacking force is:

$$F_j = 80\% \times P_u \quad (7)$$

Loss of Prestressing Force

The loss of prestressing force is calculated as the difference between the initial prestressing force and the actual force

after some time. Factors causing the loss, such as elastic shortening of concrete, friction, anchor slippage, shrinkage, creep, and tendon relaxation, are analyzed in detail for each girder configuration. This approach allows the study to provide a quantifiable evaluation of the loss of prestressing force, which is then used to optimize the design of prestressed concrete in bridge girder structures. This systematic methodology ensures the validity of the results and the relevance of the recommendations to field applications.

RESULTS AND DISCUSSION

Planning Data

To analyze prestress loss in the Y Bridge girder, several key planning data are required, as listed in Table 1.

The bridge span length (40 m) affects tendon length and the extent of friction and relaxation losses.

The spacing between girders (1.8 m) determines the load each girder must support, influencing the required prestressing force. The thickness of the bridge floor plate (0.2 m) contributes to the

dead load, impacting stress levels during prestress transfer.

The specific gravity of prestressed concrete (2550 kg/m^3) is used to calculate the girder's self-weight, which relates to creep and shrinkage losses. Additionally, the concrete grade (K-500) is essential in determining the elastic modulus and compressive strength, which are critical for calculating losses due to elastic shortening and verifying if the resulting stresses remain within allowable limits. Together, these data form the foundation for accurately modeling the prestress behavior and evaluating all six loss factors in the post-tensioning system. The Planning data illustrated in Table 1 and Figure 1.

Table 1. **Planning Data**

Data	Mark	Unit
Bridge Span Length	40	m
Jarak Antar Girder, s	1,8	m
Thickness of Bridge Floor Plate, ho	0,2	kg/m ³
Specific Gravity of Prestressed Concrete	2550	h4
Concrete Quality on Girder	K-500	
Bridge Floor Slab Concrete Quality	K-500	

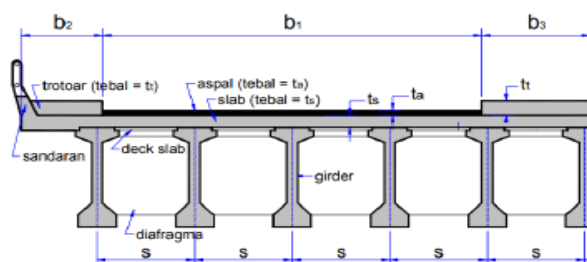


Figure 1. Cross Section of Y Bridge in planning.

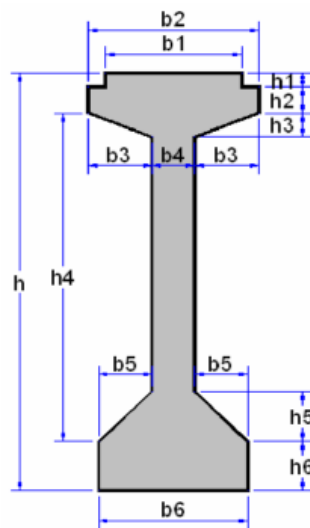


Figure 2. Sketch Cross Section Girder

Figure 2 shows the cross-sectional sketch of the Y Bridge girder, illustrating the overall geometry and layout of the structural elements, including the flange, web, and base dimensions. Table 2 complements this by providing detailed measurements of each part of the girder section, such as the width and thickness of various segments, which are essential for calculating cross-sectional properties like area, moment of inertia, and stress distribution in the prestressing analysis.

Table 2. Girder Dimensions

Code	Width (m)	Code	Tebal (m)
b1	0,64	h1	0,07
b2	0,80	h2	0,13
b3	0,30	h3	0,12
b4	0,20	h4	1,65
b5	0,25	h5	0,25
b6	0,70	h6	0,25
		h	2,10

Moment of Inertia and Moment of Resistance

Figure 3 illustrates the position of tendons at the support and mid-span of the girder, showing how the tendon paths are arranged along the length of the beam. Table 3 provides the calculated values of key cross-sectional properties, such as the location of the centroid, moment of inertia, and moment resistance, which are critical for evaluating the structural capacity and stress behavior of the girder under prestressing forces.

Table 3. Moment of Inertia and Moment of Resistance

Data	Mark	Unit
Place the emphasis, yac	1,004	m
Moment of inertia about the base, Ibc	2,331	m ⁴
Moment of inertia about the center of gravity, Ixc	0,669	m ⁴
Top moment resistance of beam, wac	0,381	m ⁴

Tendon Configuration

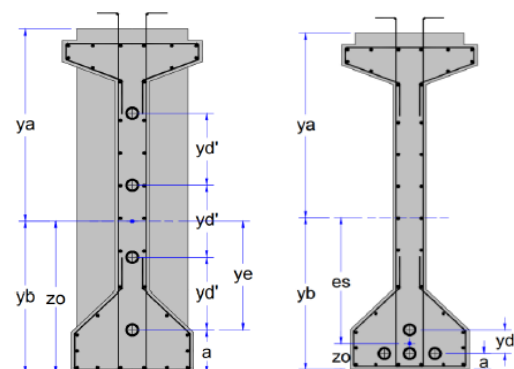


Figure 3. Position of tendon at the support (a) and at the mid-span (b)

A strand is a component of a tendon made up of high-strength steel wires used to transfer prestressing force in concrete. Each strand may differ in position and length depending on the tendon configuration. The differences between strands are usually caused by their geometric placement within the girder, particularly in terms of path length and curvature. Strand 1 shows a different pattern compared to the others, especially at positions where $x > 15$, because it follows a straighter path with less curvature and friction. As a result, the prestress loss in Strand 1 is more stable and tends to be lower in that section than in other strands that follow more curved trajectories. This difference is clearly illustrated in Table 4 and Figure 4.

Table 4. Tendon configuration at the support and in the middle

Position	Line	Number of Tendons	Number of Stands
Support Position	1	1	12
	2	1	18
	3	1	18
	4	1	18
	Total		66
Middle Span	1	1	12
	2	3	18
	Total		66

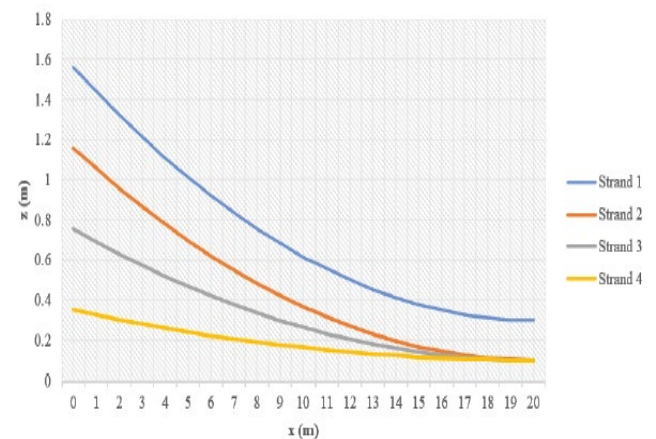


Figure 4. Path of each strand

Loss of Tension in Arched Tendons

The loss of prestressing force in the Y Bridge girder is summarized in the following Table 5:

Table 5. Loss of tendon prestressing force curved

Losses	(N/mm ²)	% Losses
Elastic Shortening	34,73	2,34
Friction	133,69	9,02
Anchor Derailment	12,06	0,81
Shrink Crawl	6,35	0,43
Tendon Relaxation	111,15	7,50
	21,68	1,46
Total	319,66	21,56

The total loss of prestress is 21.56%. This loss still exceeds the prestress loss limit of post-tension concrete which has a value of 20%. The percentage of prestress loss can be changed by changing the eccentricity. The largest percentage of prestress loss is caused by friction, the value of which can be reduced by reducing

friction, namely by changing the tendon configuration from curved to straight. To calculate the amount of prestress loss with a straight tendon configuration, a recalculation is needed.

Loss of Tension in Straight Tendons

The loss of prestressing force in the Y Bridge girder is summarized in the following Table 6.

Table 6. **Loss of prestressing force**

Losses	(N/mm ²)	% Losses
Elastic shortening	34,73	2,34
Friction	94,89	6,40
Anchor	12,06	0,81
Derailment		
Shrink	6,35	0,43
Crawl	111,15	7,50
Tendon	21,68	1,46
Relaxation		
Total	280,86	18,94

The magnitude of this loss is already below the limit of prestressing force loss of post-tensioned concrete which has a value of 20%, so the problem of prestressing force loss has been resolved.

CONCLUSION

The loss of prestressing force in girders with curved and straight tendon configurations showed significant influence from various factors, namely elastic shortening, friction, anchor slippage, shrinkage, creep, and tendon relaxation. In

girders with curved tendons, the total loss of prestressing force reached 21.56%, consisting of 2.34% due to elastic shortening, 9.02% due to friction, 0.81% due to anchor slippage, 0.43% due to shrinkage, 7.50% due to creep, and 2.46% due to tendon relaxation. On the other hand, in girders with straight tendons, the total loss of prestressing force was lower, which was 18.94%, which included 2.34% due to elastic shortening, 6.40% due to friction, 0.81% due to anchor slippage, 0.43% due to shrinkage, 7.50% due to creep, and 2.46% due to tendon relaxation.

Tendon eccentricity changes have a significant effect on prestressing force loss. In curved tendons, eccentricity changes affect the amount of loss due to elastic shortening, friction, creep, and tendon relaxation. The smallest loss occurs at an eccentricity of 0.8920 m, with a total loss of 21.46%. Meanwhile, in straight tendons, eccentricity changes affect the loss due to elastic shortening, creep, and tendon relaxation, with the smallest loss of 18.97% at the same eccentricity, which is 0.8920 m. These results indicate that the design of tendon eccentricity greatly affects the efficiency of the girder structure in maintaining prestressing force. By optimizing the eccentricity value, prestressing force loss can be minimized,

thereby improving the overall performance of the girder structure.

Although the straight tendon configuration produces a smaller prestressing force loss, this configuration cannot be applied to the Srandakan Bridge girder design because the compressive stress that occurs during the transfer of prestressing force exceeds the allowable stress limit. On the other hand, in the curved tendon configuration, the tensile and compressive stresses produced are within or equal to the allowable stress limit, so it is considered safe to use.

BIBLIOGRAPHY

- ACI Committee 318 (1995) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95)*. Detroit: American Concrete Institute.
- ACI Committee 363 (1992) *State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete*. Detroit: American Concrete Institute.
- ASTM (2006) *Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete*. American Society for Testing and Materials.
- Badan Standardisasi Nasional (2004) *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Jakarta: BSN.
- Budiandi, A. (2008) *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Andi.
- Darmawan, M.S. (2008) 'Perhitungan Kehilangan Pratekan Total dengan Memakai Teori Kemungkinan', *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 5(1), pp. 1–8.
<https://doi.org/10.12962/j12345678.v5i1.2756>
- Ilham, N. (2008) *Perhitungan Balok Prategang (PCI – Girder) Jembatan Srandakan Kulon Progo D.I.* Yogyakarta. Yogyakarta: Unpublished.
- Lin, T.Y. (2000) *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Nawy, E.G. and Suryoatmono, B. (2001) *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Jakarta: Erlangga.
- Raju, N.K. (1986) *Prestressed Concrete*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Soetoyo, I. (2001) *Konstruksi Beton Pratekan*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FT ITS.
- Sutarja, I.N. (2006) 'Pengaruh Rangkak, Susut, dan Relaksasi Baja Terhadap Lendutan Balok Jembatan Komposit Beton Prategang', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 10(1), pp. 66–80.