

**PENGARUH ENKAPSULASI KHAMIR *Saccharomyces cerevisiae*  
DENGAN VARIASI KONSENTRASI NATRIUM ALGINAT  
TERHADAP KUALITAS ROTI**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**PUTRI SETYOWATI**

**NIM. 220602110032**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2026**

**PENGARUH ENKAPSULASI KHAMIR *Saccharomyces cerevisiae*  
DENGAN VARIASI KONSENTRASI NATRIUM ALGINAT  
TERHADAP KUALITAS ROTI**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**PUTRI SETYOWATI**

**NIM. 220602110032**

**Diajukan Kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi**

**Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang**

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan**

**Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2026**

## HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :


Nama : Putri Setyowati  
NIM : 220602110032  
Program Studi : Biologi  
Judul Penelitian : PENGARUH ENKAPSULASI KHAMIR  
*Saccharomyces cerevisiae* DENGAN VARIASI  
KONSENTRASI NATRIUM ALGINAT  
TERHADAP KUALITAS ROTI

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan penguji pada tanggal 22 Juni 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Ulfah Utami, M.Si (.....)  
NIP. 19650509 199903 2 002

Pembimbing II : Prof. Munirul Abidin, M.Ag (.....)  
NIP. 19720420200212 1 003

Tim Penguji : Ir. Liliek Hariane, A.R., M.P (Ketua) (.....)  
NIP. 19620901 199803 2 001

: Prilya Dewi Fitriyani, M.Sc (Anggota) (.....)  
NIP. 19900428 202321 2 037

Ketua Program Studi Biologi  
  
Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si  
NIP. 19671113 199402 2 001

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji dan syukur senantiasa terlantun kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Sang Maha Pemberi rahmat, karunia, dan hidayah, yang dengan kasih-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan indah. Karya sederhana ini dipersembahkan dengan penuh cinta dan ketulusan kepada semua pihak yang telah menjadi cahaya dalam perjalanan penelitian, khususnya kepada:

1. Orang tua tersayang Bapak Komari, SP.d dan Ibu Parni, yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan doa untuk penulis sehingga menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Untuk diriku sendiri, Putri Setyowati terimakasih banyak sudah bertahan sejauh ini. Terimakasih sudah jadi orang baik, yang selalu percaya sama orang meskipun banyak yang salah paham.
3. Kakak yang menjadi garda terdepan Sugeng Hariadi, S.E dan Dwi Cahyo Kurniawan, M.Pd. serta Kakak ipar selalu support Nur Hidayatus S, S.Si dan Yuly Asma T, S.Pd. memberikan dukungan penuh kepada penulis sehingga penulis lebih semangat untuk menyelesaikan skripsi
4. Ibu Prof. Dr. Hj. Ulfah Utami, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan banyak waktu serta ilmu untuk memberikan bimbingan kepada penulis dengan penuh rasa sabar sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Serta bapak Prof. Dr. Munirul Abidin, M.Ag. selaku dosen pembimbing agama yang senantiasa memberikan bimbingan terkait integrasi sains dan Islam.
5. Keluarga besar Pondok Pesantren Darul Hikmah Dinoyo, yang telah membersamai penulis selama masa perkuliahan berlangsung, serta memberikan pengalaman.
6. Teman-teman kelas Biologi D “Dhewa” yang memberikan semangat, canda dan tawa, makrab yang selalu diadakan per tahunnya serta menemani penulis selama perkuliahan
7. Teman-teman “Haha Hihi Lulus” Ilmi, Ais, dan Ulfa yang telah membersamai penulis berangkat selama perkuliahan, belajar bersama sebelum ujian, kehangatan maupun keceriaan selama perkuliahan.
8. Teman sepenelitian mikrobiologi warga Jabung (Nadya) yang telah mendengarkan curhatan 24/7

## **MOTTO**

*“Apapun yang menjadi takdirmu,  
akan mencari jalannya menemukanmu.”*

**Ali bin Abi Thalib**

*“Life isn’t about finding yourself. Life is about creating yourself.”*

**George Bernard Shaw**

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Putri Setyowati  
NIM : 220602110032  
Program Studi : Biologi  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Pengaruh Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae*  
dengan Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap  
Kualitas Roti

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar Pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2026



Putri Setyowati  
NIM. 220602110032

## **PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI**

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, tapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

**PENGARUH ENKAPSULASI KHAMIR *Saccharomyces cerevisiae*  
DENGAN VARIASI KONSENTRASI NATRIUM ALGINAT  
TERHADAP KUALITAS ROTI**

Putri Setyowati, Ulfah Utami, Munirul Abidin  
Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana  
Malik Ibrahim Malang

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat dalam proses enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* terhadap kualitas roti. *S. cerevisiae* berperan penting dalam proses fermentasi adonan melalui produksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang memengaruhi volume dan tekstur roti. Namun, kondisi lingkungan yang ekstrem selama fermentasi dapat menurunkan viabilitas sel ragi. Enkapsulasi dengan natrium alginat dilakukan sebagai upaya untuk melindungi dan mempertahankan viabilitas khamir. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan variasi konsentrasi natrium alginat 2%, 4%, dan 6%, masing-masing dilakukan enkapsulasi menggunakan metode ekstrusi serta kontrol negatif berupa *Saccharomyces cerevisiae* tanpa enkapsulasi dan kontrol positif berupa ragi komersial. Parameter yang diamati meliputi pelepasan sel ragi, produksi CO<sub>2</sub>, serta kualitas roti yang meliputi volume pengembangan, tekstur, aroma, warna, dan rasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi konsentrasi natrium alginat berpengaruh terhadap pelepasan sel. Perlakuan konsentrasi 2% lebih optimal dibandingkan perlakuan lainnya, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 4%. Sementara itu, pengujian produksi CO<sub>2</sub> pada adonan roti belum menghasilkan hasil yang optimal. Sedangkan hasil kualitas roti, perlakuan konsentrasi natrium alginat 2% menjadi perlakuan terbaik dalam proses enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*.

**Kata kunci :** Enkapsulasi, *Saccharomyces cerevisiae*, variasi konsentrasi natrium alginat, ekstrusi, kualitas roti.

, ...

**THE EFFECT OF ENCAPSULATION OF YEAST *Saccharomyces cerevisiae*  
WITH VARIOUS SODIUM ALGINATE CONCENTRATIONS  
ON BREAD QUALITY**

Putri Setyowati, Ulfah Utami, Munirul Abidin  
Biology Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim  
State Islamic University of Malang

**ABSTRACT**

This study aims to determine the effect of varying sodium alginate concentrations in the encapsulation process of *Saccharomyces cerevisiae* yeast on bread quality. *S. cerevisiae* plays a crucial role in dough fermentation through the production of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), which affects the volume and texture of bread. However, extreme environmental conditions during fermentation can reduce yeast cell viability. Encapsulation with sodium alginate is carried out as an effort to protect and maintain yeast viability. This study used a Completely Randomized Design (CRD) with variations in sodium alginate concentrations of 2%, 4%, and 6%, each encapsulated using the extrusion method as well as a negative control in the form of *Saccharomyces cerevisiae* without encapsulation and a positive control with commercial yeast. The parameters observed included yeast cell release, CO<sub>2</sub> production, and bread quality including expansion volume, texture, aroma, color, and taste. The results showed that varying sodium alginate concentrations affected cell release. The 2% concentration was more optimal than the other treatments, although not significantly different from the 4% treatment. Meanwhile, testing CO<sub>2</sub> production in bread dough did not produce optimal results. Meanwhile, in terms of bread quality, the 2% sodium alginate concentration treatment turned out to be the best in the encapsulation process of *Saccharomyces cerevisiae* yeast.

**Keywords:** Encapsulation, *Saccharomyces cerevisiae*, variation of sodium alginate concentration, extrusion, bread quality.

**(*Saccharomyces cerevisiae*) تأثير تغليف خميرة  
بتركيزات مختلفة من الجينات الصوديوم  
على جودة الخبز**

بوترى سيتىواتى، أولفا ه أوتامى، منيرول أبىدين  
قسم علم الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة إيسلان الحكومية مولانا مالك إبراهيم فى مالانج

**المخلص**

*Saccharomyces cerevisiae* يهدف هذا البحث إلى تحديد تأثير تباين تركيزات الجينات الصوديوم فى عملية تغليف خميرة دوراً مهماً فى عملية تخمير العجين من خلال إنتاج *S. cerevisiae* على جودة الخبز. تلعب خميرة *S. cerevisiae* الذى يؤثر على حجم وقوام الخبز. ومع ذلك، يمكن أن تؤدي الظروف البيئية القاسية (CO<sub>2</sub>) غاز ثاني أكسيد الكربون أثناء التخمير إلى انخفاض حيوية خلايا الخميرة. ويتم التغليف باستخدام الجينات الصوديوم فى محاولة لحماية الخميرة مع تباينات فى تركيز الجينات (RAL) والحفاظ على حيويتها. استخدمت هذه الدراسة تصميماً عشوائياً كاملاً الصوديوم بنسبة 6%، 4%، 2% حيث تم إجراء عملية التغليف لكل منها باستخدام طريقة البثق، مع استخدام عينة وعينة ضابطة إيجابية من الخميرة التجارية. تشمل *Saccharomyces cerevisiae* ضابطة سلبية خالية من المعلومات التى تمت ملاحظتها إطلاق خلايا الخميرة، وإنتاج ثاني أكسيد الكربون، بالإضافة إلى جودة الخبز التى تشمل حجم التمدد، والملمس، والرائحة، واللون، والمذاق. أظهرت نتائج البحث أن تباين تركيزات الجينات الصوديوم يؤثر على تحرير الخلايا. وكانت المعالجة بتركيز 2% هي الأفضل مقارنة بالمعالجات الأخرى، على الرغم من عدم وجود فرق ذو دلالة إحصائية عن المعالجة بتركيز 4%. وفى الوقت نفسه، لم تسفر اختبارات إنتاج ثاني أكسيد الكربون فى عينة الخبز عن نتائج مثالية. أما فى اختبار جودة الخبز، فقد كانت المعالجة بتركيز 2% من الجينات *Saccharomyces cerevisiae* الصوديوم هي الأفضل فى عملية تغليف خميرة.

تباين تركيز الجينات الصوديوم، البثق، جودة الخبز، *Saccharomyces cerevisiae*، الكلمات المفتاحية: التغليف

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah wa Syukurulillah* senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rohmat dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal skripsi yang berjudul “Pengaruh Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* dengan Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Kualitas Roti” Untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nurdiana, M.Si., CHARM, CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. Ulfah Utami, M.Si selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan bimbingan terkait penelitian skripsi
5. Prof. Dr. H. Munirul Abdin, M.Ag selaku dosen pembimbing agama yang telah banyak memberikan bimbingan terkait integrasi sains dan islam.
6. Seluruh dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang setia menemani penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium tersebut.
7. Kedua orang tua yang menjadi support system baik finansial, penyemangat, dan motivator terbaik.
8. Rekan penelitian khamir di Laboratorium Mikrobiologi dan seluruh teman-teman biologi angkatan 2022.

Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi diri penulis sendiri maupun para pembacanya. Penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna sehingga saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan penulis untuk perbaikan dalam menulis laporan di kemudian hari.

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	9
1.3 Tujuan Penelitian .....	9
1.4 Manfaat Penelitian .....	10
1.5 Batasan Masalah .....	10
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>11</b>
2.1 Khamir dalam Prespektif Al-Qur'an .....	11
2.2 Khamir <i>Saccharomyces serevisiae</i> .....	13
2.2.1 Faktor Pentingnya Enkapsulasi <i>Saccharomyces serevisiae</i> .....	18
2.3 Enkapsulasi .....	20
2.3.1 Ekstrusi.....	23
2.4 Bahan Penyalut .....	26
2.4.1 Natrium Alginat.....	27
2.4.2 Konsentrasi Natrium Alginat .....	31
2.5 Pelepasan Ragi dari Bead Alginat .....	35
2.6 Produksi CO <sub>2</sub> .....	38
2.7 Roti .....	41
2.8 Kualitas Roti .....	45
2.8.1 Pengujian Volume Pengembangan Adonan .....	45
2.8.2 Pengujian Organoleptik.....	46
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>49</b>
3.1 Jenis Rancangan Penelitian.....	49
3.2 Variabel Penelitian.....	49

3.2.1	Variabel Bebas .....	49
3.2.2	Variabel Terikat.....	49
3.2.3	Variabel Kontrol.....	50
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian.....	50
3.4	Alat dan Bahan .....	50
3.4.1	Alat.....	50
3.4.2	Bahan.....	50
3.5	Prosedur Penelitian .....	51
3.5.1	Sterilisasi Alat .....	51
3.5.2	Pembuatan Media.....	51
3.5.3	Peremajaan Isolat Khamir .....	52
3.5.4	Perbanyak Isolat Khamir .....	52
3.5.5	Perhitungan Sel Khamir Sebelum Enkapsulasi.....	53
3.5.6	Prosedur Enkapsulasi dengan Natrium Alginat .....	54
3.5.6.1	Pembuatan Larutan Kalsium Klorida (CaCl <sub>2</sub> ) .....	54
3.5.6.2	Pembuatan Larutan Natrium Alginat dengan Suspensi Khamir .....	54
3.5.6.3	Enkapsulasi <i>Saccharomyces cerevisiae</i> dengan Metode Ekstrusi.....	55
3.5.7	Pengujian Pelepasan Sel Khamir.....	55
3.5.8	Pembuatan Adonan Roti.....	56
3.5.9	Pengujian Produksi CO <sub>2</sub> .....	56
3.5.10	Pengujian Kualitas Roti.....	57
3.5.10.1	Pengukuran Volume Adonan .....	57
3.5.10.2	Analisis Sensori dan Uji Konsumen Hedonik .....	57
3.6	Analisis Data.....	58
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>60</b>
4.1	Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Pelepasan Sel Bead Enkapsulasi Khamir <i>Saccharomyces serevisiae</i> .....	60
4.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Produksi Gas Karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) Enkapsulasi Khamir <i>Saccharomyces serevisiae</i> pada Pembuatan Roti .....	66
4.3	Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Kualitas Roti pada Enkapsulasi Khamir <i>Saccharomyces serevisiae</i> .....	69
4.3.1	Volume Pengembangan Adonan Roti .....	69
4.3.2	Uji Organoleptik.....	74
4.4	Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an .....	84
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>88</b>
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran .....	89
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>90</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>99</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.3 Keuntungan dan kerugian teknik enkapsulasi.....	21
Tabel 3.1 Desain perlakuan natrium alginat 2%, 4%, dan 6%.....	49
Tabel 4.1 Data Pelepasan Sel dalam Bead Enkapsulasi.....	60
Tabel 4.2 Produksi Gas Karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) Enkapsulasi.....	67
Tabel 4.3 Hasil Uji lanjut <i>Mann-Whitney</i> terhadap organoleptik roti.....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Morfologi Isolat YIS-3.....	15
Gambar 2.2 Metabolisme Inti Fermentasi Pada Ragi .....	17
Gambar 2.3 Presentasi skematis dari struktur kapsul.....	20
Gambar 2.3.1 Skema Proses Enkapsulasi dengan Ekstrusi dan Emulsi .....	24
Gambar 2.4.1 Struktur kimia sodium alginat .....	28
Gambar 2.4.1 Skema pembentukan gel alginat oleh kation kalsium .....	29
Gambar 2.6 Alat ukur pengujian (CO <sub>2</sub> ) .....	40
Gambar 2.7 Mekanisme reaksi Maillard.....	44
Gambar 4.1 Hasil bead enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	65
Gambar 4.3.1 Grafik pengembangan volume adonan roti .....	70
Gambar 4.3.2 Hasil roti yang telah di panggang.....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peremajaan dan perbanyakkan isolat khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	99
Lampiran 2. Prosedur enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> metode ekstrusi .....	101
Lampiran 3. Uji pelepasan sel khamir dari bead enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	103
Lampiran 4. Hasil uji statistik pengaruh konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	104
Lampiran 5. Uji produksi gas karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pada pembuatan roti .....	108
Lampiran 6. Hasil pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap produksi gas karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pada pembuatan roti.....	109
Lampiran 7. Hasil pengaruh konsentrasi natrium alginat pada enkapsulasi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> terhadap kualitas roti .....	111

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Keberagaman makhluk hidup di bumi menunjukkan bahwa setiap ciptaan Allah memiliki fungsi dan tujuan tertentu. Al-Qur'an mengajarkan agar manusia tidak hanya mengingat Allah, tetapi juga memikirkan ciptaan-Nya sebagai bentuk kesadaran akan kebesaran dan kekuasaan-Nya. Hal ini ditegaskan dalam Surah Ali-Imran ayat 191 berikut:

﴿ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا

خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۙ ۱۹۱ ﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Maha Suci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka”. (QS Ali-Imran [3]:191).

Dalam tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menggambarkan orang beriman sebagai mereka yang senantiasa mengingat Allah (*dzikrullah*) dalam setiap keadaan serta merenungkan penciptaan langit dan bumi sebagai bentuk tafakkur terhadap kebesaran-Nya. Melalui perenungan itu, mereka menyadari bahwa seluruh ciptaan Allah tidaklah sia-sia, melainkan mengandung tujuan dan hikmah yang besar, sebagaimana pernyataan “*Rabbanaa maa khalaqta hadza bathila*” (Sofia, 2021). Sejalan dengan itu, Tafsir Al-Mishbah menjelaskan bahwa dzikir sejati tidak hanya dengan lisan, tetapi juga melalui tafakkur yang menumbuhkan kesadaran akan kebijaksanaan Allah dalam setiap ciptaan-Nya. Salah satunya adalah

keberadaan khamir (*yeast*), meskipun kecil memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, khususnya dalam bidang pangan.

Produksi roti di Indonesia setiap tahunnya selalu meningkat seperti halnya periode 2020 hingga 2023 menunjukkan tren peningkatan yang stabil dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 6,26% per tahun (Dermawan, 2023). Kualitas roti dapat ditentukan oleh bahan dalam adonan atau resep. Selain itu, proses fermentasi adonan juga mempengaruhi kualitas produk akhir roti (Struyf *et al.*, 2017). Fermentasi dalam pembuatan roti berlangsung melalui aktivitas bahan pengembang, yaitu ragi (*yeast*), yang merupakan komponen utama dalam proses ini (Arwini, 2021).

Proses pembuatan roti melibatkan khamir yaitu *Saccharomyces cerevisiae* yang dapat memfermentasi gula menjadi alkohol dan karbondioksida (Bitrus *et al.*, 2020; Onesiforus dkk., 2021). Penelitian ini menggunakan khamir endofit *Saccharomyces cerevisiae* hasil isolasi dari daging buah salak pondoh (*Salacca edulis* Reinw.) koleksi Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Isolat tersebut telah diuji potensinya sebagai agen pengembang roti, dengan menunjukkan kemampuan memfermentasi empat jenis gula (glukosa, fruktosa, sukrosa, dan galaktosa). Toleransi terhadap etanol hingga 15%, melakukan flokulasi yang baik, serta dapat tumbuh pada rentang suhu 30-37°C. Hasil uji menunjukkan isolat mampu meningkatkan volume roti hingga 185 cm<sup>3</sup>, lebih tinggi dibandingkan ragi komersial (180 cm<sup>3</sup>), dengan waktu fermentasi 10 jam dari total 12 jam (Sari, 2020).

Khamir *Saccharomyces cerevisiae* memiliki peran penting dalam fermentasi produk roti. Proses pengembangan adonan pada roti terjadi melalui aktivitas khamir yang memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi. Dalam mekanismenya, khamir mengubah karbohidrat menjadi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan alkohol. Gas CO<sub>2</sub> tersebut menghasilkan terbentuknya struktur berpori pada adonan, menghasilkan pengembangan volume, serta memberikan aroma khas yang muncul selama proses pemanggangan (Lahue *et al.*, (2020); Ridhani dkk., 2021).

Proses pembuatan roti melibatkan pencampuran tepung terigu dan air untuk membentuk jaringan gluten yang berfungsi menangkap gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) hasil fermentasi khamir. Tepung terigu mengandung dua jenis protein utama, yaitu glutenin dan gliadin, yang ketika berinteraksi dengan air akan berikatan membentuk gluten. Jaringan gluten ini bersifat elastis dan mampu meregang serta mengembang, sehingga berperan penting dalam menentukan struktur adonan, volume pengembangan, tekstur, dan porositas roti yang dihasilkan (Kusnandar dkk., 2022). Selain itu, gluten mempertahankan gas yang dihasilkan selama proses fermentasi dan pemanggangan agar tetap terperangkap di dalam adonan (Muna dkk., 2023).

Adonan roti umumnya mengandung tambahan gula dan garam, di mana kadar sukrosa dapat mencapai 30% dan menimbulkan tekanan osmotik yang memengaruhi laju fermentasi ragi. Sementara garam dalam adonan juga memberikan tekanan osmotik sekaligus stres ionik pada sel ragi (Struyf *et al.*, 2017). Keadaan ini dapat menurunkan viabilitas sel serta kemampuan fermentasi, yang berakibat pada waktu proofing yang lebih panjang dan menghasilkan roti

berukuran lebih kecil (Lahue *et al.*, 2020). Penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa sel bebas tanpa perlindungan mengalami penurunan kemampuan fermentatif secara cepat, ditandai dari berkurangnya jumlah sel sebesar 3 log CFU/g.

Solusi dari permasalahan tersebut, untuk menjaga viabilitas sel tetap stabil selama proses fermentasi adalah teknik enkapsulasi. Enkapsulasi merupakan teknik pelapisan (*coating*) bahan inti yang dilakukan bertujuan untuk meningkatkan viabilitas dan melindungi sel dari kondisi lingkungan yang dapat merugikan (Hidayah dkk., 2021). Menurut Sadeghi *et al.*, (2024) dalam jurnalnya, teknik enkapsulasi terbukti mampu meningkatkan ketahanan *Saccharomyces cerevisiae* terhadap berbagai stres lingkungan selama tahap produksi maupun penyimpanan. Proses ini menghasilkan matriks pelindung yang berfungsi meminimalkan kontak langsung sel dengan fluktuasi suhu, perubahan pH baik asam maupun basa, serta aktivitas enzim proteolitik, sehingga viabilitas dan kemampuan fermentatifnya lebih terjaga dibandingkan sel yang tidak dienkapsulasi.

Beberapa teknik enkapsulasi yang digunakan untuk menghasilkan bead diantaranya adalah coacervation, fluidized bed coating, dan ekstrusi. Metode ekstrusi dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah melibatkan suhu yang rendah, sederhana, serta biaya rendah (Tolve *et al.*, 2022). Metode ekstrusi dilakukan pada suhu kamar sekitar 30°C tanpa melibatkan pemanasan yang tinggi. Paparan suhu yang rendah, tidak dapat merusak sel sehingga lebih sesuai untuk enkapsulasi mikroba yang hidup (Bevilacqua *et al.*, 2020; Calazans *et al.*, 2024).

Secara umum, berbagai bahan penyalut yang digunakan enkapsulasi salah satunya adalah natrium alginat (Abd WI-Kader & Abu Hashish, 2020). Alginat merupakan polisakarida yang diekstrak dari alga coklat laut dan termasuk salah satu polimer yang paling umum dimanfaatkan dalam teknik enkapsulasi (Hidayah dkk., 2021). Natrium alginat memiliki kemampuan alami untuk membentuk gel (*hidrogel*) yang efektif tanpa perlu tambahan polimer lain. Hal ini disebabkan oleh interaksi ionik antara gugus karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ) pada rantai alginat dengan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), yang menghasilkan struktur jaringan tiga dimensi yang stabil (Letocha *et al.*, 2022). Berdasarkan karakteristik tersebut, natrium alginat dipilih sebagai bahan penyalut karena memiliki sejumlah keunggulan, seperti bersifat tidak toksik, mudah terdegradasi secara alami (*biodegradable*), dan memiliki kompatibilitas biologis yang baik (*biokompatibel*), sehingga aman digunakan dalam produk makanan Bevilacqua *et al.*, (2020).

Keberhasilan enkapsulasi ditunjukkan pada penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) dengan menggunakan bahan penyalut alginat 2% dalam proses enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* mampu memberikan perlindungan yang optimal terhadap sel khamir. Tingkat efisiensi enkapsulasi mencapai 93,75%, dengan viabilitas *Saccharomyces cerevisiae* tercatat sebesar 7.0-7.8 log CFU/g. Hal ini juga terbukti pada penelitian oleh Calazans *et al.* (2024) mikrokapsul terbukti efektif melindungi sel ragi dari panas pemanggangan, di mana roti dengan mikrokapsul (UFMG-A905-C) menunjukkan peningkatan jumlah ragi hidup di feses tikus setelah mengonsumsi roti, jumlah sel ragi sebanyak  $6,5 \times 10^6 \pm 1,9 \times 10^6$  cfu/g pada awal imunisasi dan meningkat  $4,0 \times 10^7 \pm 5,1 \times 10^6$  cfu/g pada saat tantangan alergen.

Konsentrasi natrium alginat sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan fungsional bead hasil enkapsulasi karena menentukan kepadatan, porositas, serta kemampuan perlindungan mikroba di dalamnya (Łętocha *et al.*, 2022). Pada konsentrasi rendah, bead menjadi tipis dan rapuh, sedangkan pada konsentrasi tinggi struktur menjadi sangat padat sehingga memperlambat difusi nutrisi dan pelepasan mikroba (Sadeghi *et al.*, 2024; Venkatachalam *et al.*, 2025). Oleh karena itu, pemilihan konsentrasi natrium alginat perlu dioptimalkan.

Enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan natrium alginat 2% melalui metode ekstrusi memberikan efisiensi hingga 93,75%, yang menunjukkan sebagian besar sel khamir berhasil terbungkus dengan baik. Sebelum dilakukan enkapsulasi, viabilitas *Saccharomyces cerevisiae* sebesar 7,42 log CFU/g, sedangkan setelah proses tersebut terjadi sedikit penurunan menjadi 7,02 log CFU/g (Bevilacqua *et al.*, 2020). Calazans *et al.* (2024) juga menunjukkan bahwa konsentrasi 2% mampu menjaga viabilitas *S. cerevisiae* UFMG A-905 setelah proses pemanggangan dan pencernaan, dengan jumlah koloni hidup mencapai  $6,5 \times 10^6$  CFU/g feses tikus. Sementara itu, Ghorbani-Choboghlo *et al.* (2015) sel *S. cerevisiae* yang dienkapsulasi dalam natrium alginat 2% hanya mengalami penurunan 2 log CFU/ml pada kondisi pH 2–8, dibandingkan 4 log CFU/ml pada sel bebas.

Sementara itu, pada produk minuman fermentasi, konsentrasi natrium alginat 2% pada *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan aktivitas fermentatif yang lebih tinggi karena difusi substrat lebih cepat, sehingga kadar etanol akhir lebih tinggi 11,3–11,5%. Aktivitas fermentasi pada konsentrasi 2% lebih tinggi karena difusi substrat lebih cepat, sedangkan pada 4% sedikit menurun akibat gel

yang lebih rapat. Namun, bead 4% memiliki berat basah 5,1 g, lebih besar dibanding 2% (3,6 g), menandakan stabilitas mekanik yang lebih baik selama fermentasi (Pereira *et al.*, 2014). Konsentrasi 4% menunjukkan kestabilan bead yang lebih baik, memungkinkan penggunaan fermentasi berulang tanpa kerusakan struktural, meskipun aktivitas fermentatif sedikit menurun (Sousa-Diaz *et al.*, 2021).

Selain itu, peningkatan kerapatan jaringan terbukti mampu meningkatkan efisiensi enkapsulasi, dari  $81,52 \pm 2,14\%$  pada konsentrasi 2% menjadi  $97,55 \pm 0,86\%$  pada 6%, sekaligus menurunkan jumlah sel bebas di medium dari 14,3% menjadi 3,6% (Valero-Cases *et al.*, 2025). Akan tetapi, pada konsentrasi di atas 6%, tingginya viskositas dapat memperlambat laju penetesan hingga 35%, sehingga menghasilkan bead yang kurang seragam (Sadeghi *et al.*, 2024). Berdasarkan karakter dari beberapa jurnal tersebut, pemilihan konsentrasi dalam penelitian ini adalah 2%, 4% dan 6% untuk melihat konsentrasi optimum pengaruhnya terhadap keseimbangan antara viabilitas sel, aktivitas fermentatif, dan stabilitas struktural selama proses pembuatan roti.

Bead enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* dievaluasi menggunakan beberapa parameter, yaitu perhitungan sel khamir sebelum enkapsulasi, uji pelepasan sel ragi, uji produksi CO<sub>2</sub>, dan uji kualitas roti. Uji sel khamir dilakukan sebelum enkapsulasi untuk mengetahui jumlah sel hidup awal yang akan digunakan dalam proses enkapsulasi. Perhitungan sel khamir sebelum enkapsulasi dilakukan menggunakan metode plating (Insani dkk., 2018). Uji pelepasan sel ragi dilakukan untuk mengamati proses pelepasan ragi dari bead serta menentukan jumlah sel yang tetap hidup dan aktif setelah proses enkapsulasi

serta mampu keluar dari bead natrium alginat. Pengukuran jumlah sel ragi yang dilepaskan dilakukan menggunakan metode plating (Bevilacqua *et al.*, 2020). Sedangkan uji produksi CO<sub>2</sub> selama fermentasi oleh ragi dapat dievaluasi melalui pengukuran volume gas yang dilepaskan, sehingga menjadi evaluasi efektif dalam menilai tingkat aktivitas metabolisme khamir selama fermentasi. Uji produksi CO<sub>2</sub> menggunakan metode gasografy (Rada & Kasaieb., 2017).

Kualitas roti dievaluasi berdasarkan pengukuran volume pengembangan adonan dan uji organoleptik terhadap tekstur, aroma, rasa, dan warna roti (Sitepu, 2019). Hal tersebut dikarenakan pada proses fermentasi dalam pembuatan roti menghasilkan alkohol dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai produk utama. Gas CO<sub>2</sub> yang terbentuk berperan dalam pengembangan volume adonan serta memengaruhi struktur tekstural roti setelah proses pemanggangan. Sementara itu, alkohol memberikan kontribusi terhadap karakteristik aroma, warna, dan cita rasa khas roti (Shabrina, 2017). Pengujian volume adonan dilakukan dengan membedakan antara volume akhir setelah proses fermentasi dan volume awal sebelum fermentasi dimulai (Utami *et al.*, 2024). Sedangkan analisis sensori dilakukan dengan menggunakan skala hedonik berstruktur lima tingkat kesukaan (Umama *et al.*, 2024) dengan melibatkan 20 panelis (Zhang *et al.*, 2023).

Latar belakang ini menjadi dasar penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* pada variasi konsentrasi natrium alginat terhadap perhitungan sel khamir sebelum enkapsulasi, pelepasan sel ragi dari bead, produksi CO<sub>2</sub> pada pembuatan roti, dan kualitas roti. Perlakuan terdiri dari tiga perbandingan konsentrasi natrium alginat, yaitu 2%, 4%, dan 6% serta kontrol negatif berupa khamir tanpa enkapsulasi dan kontrol

positif berupa ragi komersial. Konsentrasi natrium alginat digunakan untuk menentukan konsentrasi yang paling efektif dalam enkapsulasi metode ekstrusi. Penelitian ini diharapkan menghasilkan konsentrasi optimal yang mampu mempertahankan viabilitas khamir berpengaruh terhadap kualitas roti.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel dari bead enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada pembuatan roti?
3. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap kualitas roti (aroma, warna, rasa, tekstur, dan volume) enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel dari bead enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada pembuatan roti.
3. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap kualitas roti (aroma, warna, rasa, tekstur, dan volume) enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan diharapkan bermanfaat untuk mengoptimalkan proses enkapsulasi sebagai teknik perlindungan spesies khamir lokal yang digunakan sebagai pengembang roti.
2. Adanya variasi konsentrasi enkapsulasi diharapkan menjadi acuan menggunakan perbandingan yang baik.
3. Penelitian ini dilakukan diharapkan mampu diterapkan dalam industri yang memanfaatkan kemampuan khamir.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Khamir yang digunakan merupakan isolat khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang diperoleh dari koleksi Laboratorium Mikrobiologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Isolat tersebut sebelumnya diidentifikasi dan diambil dari daging buah salak pondoh (*Salacca edulis* Reinw)
2. Variasi konsentrasi enkapsulasi natrium alginat yang digunakan adalah 2%, 4%, dan 6%.
3. Parameter yang diamati meliputi pelepasan sel ragi, produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan kualitas roti (volume, warna, aroma, tekstur, dan rasa).
4. Penelitian ini lebih berfokus pada kualitas roti, tidak menguji keberhasilan enkapsulasi secara detail, hanya viabilitas bead enkapsulasi dengan pelepasan sel ragi.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Khamir dalam Prespektif Al-Qur'an

Khamir atau *yeast* merupakan mikroorganisme bersel tunggal yang termasuk dalam kingdom fungi. Meskipun uniseluler, khamir memiliki struktur sel kompleks dengan materi genetik yang terbungkus dalam inti sel. Hal tersebut menandakan bahwa khamir adalah organisme eukariot (Pratiwi & Akhdiya, 2020). Khamir umumnya tumbuh dengan menggunakan bahan organik sebagai sumber energi, baik dalam bentuk saprofit maupun parasit, dan berperan penting bagi manusia, terutama dalam mendukung proses fermentasi pada pangan (Suryaningsih dkk., 2018). Sebagaimana firman Allah Swt dalam Al-Quran surah Al-Baqarah ayat 26 sebagai berikut :

﴿ إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي ۖ أَن يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا ۗ فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ ۗ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا ۗ يُضِلُّ بِهِ ۖ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ ۖ كَثِيرًا ۗ وَمَا يُضِلُّ بِهِ ۖ إِلَّا الْفَاسِقِينَ ۗ ﴾ ٢٦

Artinya : “*Sesungguhnya Allah tidak segan membuat perumpamaan seekor nyamuk atau yang lebih kecil daripada itu. Adapun orang-orang yang beriman mengetahui bahwa itu kebenaran dari Tuhannya. Akan tetapi, orang-orang kafir berkata, “Apa maksud Allah dengan perumpamaan ini?” Dengan (perumpamaan) itu banyak orang yang disesatkan-Nya. Dengan itu pula banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Namun, tidak ada yang Dia sesatkan dengan (perumpamaan) itu, selain orang-orang fasik.*” (QS. Al- Baqarah (2) : 26)

Dalam penafsiran Ibnu Katsir, dijelaskan bahwa ayat ini diturunkan sebagai respons terhadap kaum musyrik dan munafik yang meremehkan perumpamaan yang disampaikan oleh Allah Swt melalui makhluk kecil seperti nyamuk. Allah

SwT menegaskan bahwa Ia tidak enggan menggunakan makhluk sekecil apa pun sebagai sarana penyampaian pelajaran, karena setiap ciptaan-Nya memiliki fungsi dan menyimpan hikmah. Prinsip ini dapat dihubungkan dengan keberadaan mikroorganisme seperti khamir, yang meskipun berukuran mikroskopis, memiliki peran penting dalam berbagai proses biologis dan teknologi pangan. Di antara jenis khamir yang paling umum digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*, yang berperan penting dalam pembuatan roti dan minuman beralkohol (Puspita dkk., 2020).

Khamir merupakan mikroorganisme yang banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, terutama dalam pembuatan roti. Dalam proses fermentasi, khamir menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang membuat adonan mengembang dan menghasilkan tekstur yang lembut. Pemanfaatan khamir ini menunjukkan bagaimana manusia dapat mengoptimalkan makhluk ciptaan Allah Swt., bahkan yang tampak kecil, sebagai bentuk rasa syukur dan pengakuan atas kebesaran serta hikmah-Nya. Hal ini sejalan dengan firman Allah dalam QS. Al-Ankabut ayat 44 sebagai berikut:

﴿ خَلَقَ اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّلْمُؤْمِنِينَ ۝ ٤٤ ﴾

Artinya: “Allah menciptakan langit dan bumi dengan hak.577) Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang mukmin.” (QS. Al-Ankabut (29) : 44).

Dalam Tafsir Ibnu Katsir, dijelaskan bahwa penciptaan langit dan bumi oleh Allah Swt dilakukan dengan tujuan yang benar dan penuh makna, bukan sekadar permainan tanpa arti. Setiap ciptaan-Nya memiliki fungsi dan manfaat dalam sistem kehidupan. Bagi orang-orang beriman, keberadaan alam semesta menjadi

bukti nyata akan kekuasaan dan kebijaksanaan-Nya. Bahkan makhluk sekecil khamir pun memiliki peran penting dalam industri pangan melalui proses fermentasi. Ini menunjukkan bahwa tidak ada ciptaan Allah yang sia-sia, semuanya mengandung hikmah dan tujuan.

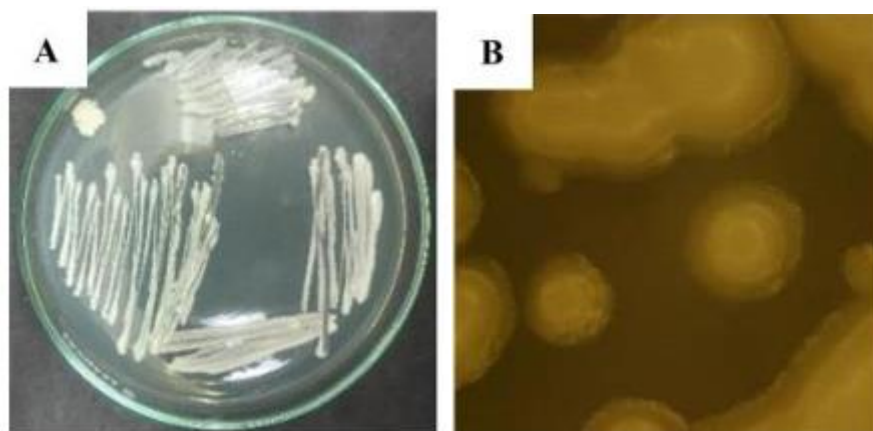
## **2.2 Khamir *Saccharomyces cerevisiae***

Khamir (*yeast*) merupakan fungi eukariotik uniseluler berukuran mikroskopis. Mikroorganisme ini umumnya bereproduksi secara aseksual melalui pembentukan tunas (*budding*) maupun pembelahan (*fission*). Selain itu, khamir juga dapat mengalami fase seksual yang berlangsung dalam struktur badan buah (Prihartini & Ilmi, 2018). Ukuran sel khamir bervariasi sesuai dengan jenis dan spesiesnya, dengan panjang berkisar 5–20  $\mu\text{m}$  dan lebar 1–10  $\mu\text{m}$  (Puspita, 2020). Bentuk sel khamir pun beragam, meliputi bulat (kokus), batang atau silindris (basil), segitiga melengkung, apikulat menyerupai lemon, bentuk botol, hingga pseudomiselium (Periandadi dkk., 2018).

Khamir memiliki kemampuan beradaptasi di berbagai habitat, baik di lingkungan akuatik, daratan, maupun udara. Mikroorganisme ini dapat tumbuh dan membentuk koloni pada organisme hidup maupun permukaan benda mati. Khamir juga sering dijumpai pada daun, buah, nektar bunga, serta sejumlah bahan pangan seperti madu (Prihartini & Ilmi, 2018). Pertumbuhan khamir berlangsung optimal pada suhu sekitar 25–30°C dengan kelembapan yang sesuai serta ketersediaan nutrisi yang memadai. Di alam, khamir mampu menjalankan metabolisme dan proses fermentasi secara efektif karena kebutuhan nutrisi dan substratnya relatif lebih sederhana dibandingkan dengan mikroorganisme lain (Maicas, 2020).

Khamir dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok utama berdasarkan karakteristik metabolismenya, yaitu khamir fermentatif dan khamir oksidatif. Khamir fermentatif mampu menguraikan gula menjadi etanol serta karbon dioksida melalui proses fermentasi. Jenis khamir ini banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, kesehatan, maupun energi. Contoh khamir fermentatif meliputi *Saccharomyces*, *Candida*, *Brettanomyces*, dan *Zygosaccharomyces* (Pratama dkk., 2017). Sementara itu, khamir oksidatif menghasilkan karbon dioksida dan air sebagai produk metabolisme, tanpa menghasilkan senyawa fermentasi. Salah satu contohnya adalah *Rhodotorula* (Kustyawati, 2020).

Isolat YIS-3 yang diperoleh dari buah salak pondoh menunjukkan kesamaan genetik dengan strain *Saccharomyces cerevisiae* XZFM13-1 (Zahroh, 2022). Spesies tersebut memiliki koloni berwarna putih krem, tekstur halus, dan permukaan kusam (Gambar 2.2a). Isolat tersebut memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan elevasi timbul (Gambar 2.2b). Sel ini mengandung protoplasma yang dikelilingi oleh dinding sel yang terdiri dari kitin dan membran sel yang mengelilingi protoplasma. Protoplasma mengandung organel sel seperti ribosom, mitokondria, retikulum endoplasma, nukleus, dan butiran lainnya. Vakuola tunggal, besar, dan terletak di tengah sel. *S. cerevisiae* tidak memiliki flagelum atau organ penggerak lainnya (Soesanto & Mugiastuti, 2023). *Saccharomyces cerevisiae* tidak memiliki miselium sel, sel berbentuk oval atau bulat dengan diameter 5-10  $\mu\text{m}$ , dinding sel tersusun atas  $\beta$ -1,6 glukukan dan mannan. *Saccharomyces cerevisiae* berbentuk oval dan memiliki satu nukleus. Kumpulan sel menunjukkan adanya sel tunggal dan berpasangan. Reproduksi aseksual dilakukan melalui pertunasan multilateral (Harapan dkk., 2024).



**Gambar 2.2. Morfologi Isolat YIS-3** (a) Koloni isolate YIS-3 secara makroskopis (b)Morfologi mikroskopis koloni isolate YIS-3 (perbesaran 10x) (Sari, 2020)

Klasifikasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* menurut Khazalina, (2020)

adalah sebagai berikut:

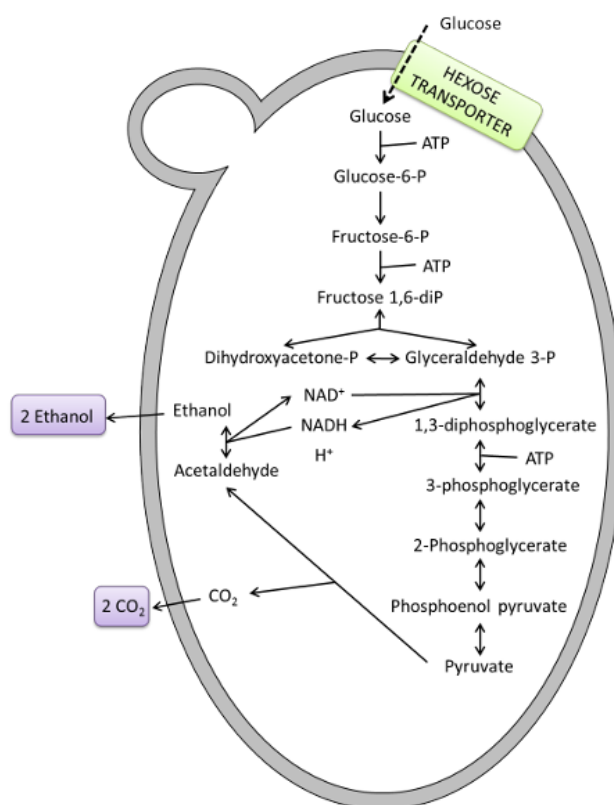
Kingdom	: Fungi
Divisio	: Ascomycota
Classis	: Saccharomycetes
Ordo	: Sccharomycetales
Family	: Saccharomyceae
Genus	: Saccharomyces

Species: *Saccharomyces cerevisiae*

Khamir dalam pembuatan roti berperan penting dengan menghasilkan gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang menyebabkan adonan mengembang dan berpori. *Saccharomyces cerevisiae* memiliki enzim maltase yang mampu mengubah maltosa menjadi glukosa, yang kemudian digunakan dalam proses fermentasi (Puspita dkk., 2020). *Saccharomyces cerevisiae* merupakan khamir penghasil

enzim amilase yang berpotensi tinggi, selain bakteri dan kapang, terutama dalam produk berbahan dasar pati. Khamir amilolitik ini memiliki kemampuan menghidrolisis ikatan  $\alpha$  pada amilopektin melalui aktivitas isoamilase, sehingga berperan penting dalam proses fermentasi. Selain menghasilkan amilase, *Saccharomyces cerevisiae* juga berperan dalam produksi etanol, dengan biomassa yang berasal dari bahan berpati seperti beras, yang digunakan dalam pembuatan minuman dan makanan rendah karbohidrat, termasuk fermentasi tape ketan (Khazalina, 2020).

Fermentasi karbohidrat oleh khamir membutuhkan tambahan nutrisi seperti unsur karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), serta berbagai mineral dan vitamin untuk mendukung pertumbuhan dan reproduksinya. Fermentasi anaerob memungkinkan mikroorganisme menguraikan bahan energinya tanpa oksigen, menghasilkan produk sampingan berupa air, asam asetat, etanol, senyawa volatil, alkohol, dan ester. Pada fermentasi etanol, glukosa dipecah menjadi etanol dan karbon dioksida melalui reaksi:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 + \text{panas}$  (Cahyaningtyas & Sindhuwati, 2021). Proses fermentasi oleh khamir dan sejumlah bakteri terjadi ketika senyawa piruvat, hasil dari pemecahan glukosa, dikonversi menjadi etanol dan gas karbon dioksida (Gambar 2.2)



**Gambar 2.2 Metabolisme Inti Fermentasi Pada Khamir (Maicas, 2020)**

Fermentasi etanol merupakan proses biokimia yang dilakukan oleh khamir dan beberapa jenis bakteri, di mana glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) dikonversi menjadi dua molekul etanol ( $C_2H_5OH$ ) dan dua molekul karbon dioksida ( $CO_2$ ). Reaksi ini berlangsung dalam kondisi anaerob atau ketika oksigen sangat terbatas. Pada tahap ini, senyawa asetaldehida berperan sebagai prekursor yang direduksi menjadi etanol, dan proses tersebut menghasilkan dua molekul ATP sebagai sumber energi bagi sel. Namun, karena jumlah ATP yang dihasilkan relatif kecil, sel harus mengonsumsi glukosa dalam jumlah besar untuk memenuhi kebutuhan energinya. Akibatnya, etanol akan terakumulasi di lingkungan sekitar sel. Ketika konsentrasi etanol mencapai tingkat tertentu, proses fermentasi akan terhambat

atau bahkan berhenti sepenuhnya, karena kondisi tersebut tidak lagi mendukung aktivitas metabolik sel secara optimal (Maicas, 2020).

Fermentasi adonan oleh ragi merupakan tahap paling penting dalam proses pembuatan roti, karena hasil aktivitas sel ragi selama fase ini sangat menentukan mutu akhir produk. Selama fermentasi, ragi menghasilkan karbon dioksida dan berbagai metabolit yang berperan dalam membentuk karakteristik adonan, seperti volume, tekstur, penampilan, dan cita rasa roti. Efektivitas fermentasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis strain ragi yang digunakan, kondisi pra-pertumbuhan, aktivitas biologis selama fermentasi, serta komposisi bahan adonan. Kandungan gula dan garam dalam adonan juga turut memengaruhi laju fermentasi. Dalam industri roti modern, berbagai tipe adonan telah dikembangkan, seperti adonan rendah lemak, adonan manis, dan adonan beku. Untuk mencapai fermentasi yang optimal sesuai dengan karakteristik masing-masing jenis adonan, pemilihan strain ragi yang memiliki fenotipe yang sesuai sangat dianjurkan (Maicas, 2020).

### **2.2.1 Faktor Pentingnya Enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae***

Dinding sel khamir pada saat fermentasi, berperan penting dalam melindungi bagian dalam sel dari berbagai pengaruh eksternal. Seperti perubahan suhu, tekanan osmotik, maupun gaya mekanis (Eigenfeld *et al.*, 2023). Berdasarkan review jurnal penelitian Struyf *et al.*, (2017) mengatakan bahwa kinerja *Saccharomyces cerevisiae* di dalam adonan roti dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang berkaitan dengan komposisi bahan dan kondisi fermentasi. Faktor yang paling penting adalah ketersediaan gula fermentabel, karena tepung hanya mengandung gula bebas dalam jumlah sangat kecil sehingga fermentasi

sangat bergantung pada gula yang dihasilkan selama proses enzimatik. Enzim amilase dari tepung bekerja memecah pati rusak menjadi maltosa sehingga jumlah maltosa meningkat selama pengadonan dan inkubasi, sedangkan enzim invertase yang dilepaskan oleh *yeast* memecah sukrosa dan fruktan menjadi glukosa serta fruktosa yang menjadi sumber energi cepat bagi *yeast*. Aktivitas enzim-enzim inilah yang memastikan tersedianya gula dalam jumlah cukup untuk mendukung produksi CO<sub>2</sub> selama fermentasi.

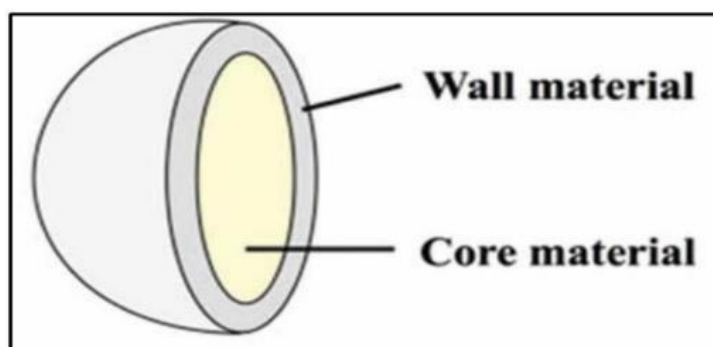
Selain gula, fermentasi juga dipengaruhi oleh tekanan osmotik, terutama pada *sweet dough* yang mengandung sukrosa tinggi hingga 30%, karena kondisi ini dapat menghambat metabolisme *yeast* dan memperlambat produksi gas. Garam juga menjadi faktor penting karena memberikan tekanan osmotik dan ionik yang menurunkan aktivitas fermentasi, meskipun garam berperan memperkuat jaringan gluten sehingga gas dapat terperangkap lebih baik dalam adonan (Struyf *et al.*, 2017). Dalam kondisi hiperosmotik, sel mengalami kehilangan air karena adanya perbedaan gradien osmotik di kedua sisi membran, sehingga pertumbuhannya terhenti. Keadaan ini dapat menurunkan viabilitas serta kemampuan fermentasi, yang berakibat pada waktu proofing yang lebih panjang dan menghasilkan roti berukuran lebih kecil. Oleh karena itu, kemampuan strain dalam mengatur tekanan osmotik merupakan karakteristik penting dalam proses pembuatan roti (Lahue *et al.*, 2020).

Faktor lain yang memengaruhi fermentasi adalah suhu dan teknik penyimpanan, di mana pembekuan pada frozen dough dapat merusak membran sel dan mengurangi viabilitas *yeast*, sedangkan penyimpanan dingin (*refrigerated dough*) tetap memungkinkan produksi CO<sub>2</sub> sehingga berisiko menimbulkan

overproofing. Selain itu, mineral penting seperti  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$  juga berperan dalam metabolisme *yeast*, meskipun dampaknya pada fermentasi adonan roti belum sepenuhnya dipahami (Struyf *et al.*, 2017)

### 2.3 Enkapsulasi

Enkapsulasi merupakan teknik pelapisan suatu zat dengan menggunakan bahan lain sebagai pelindung. Zat yang dilapisi dikenal sebagai bahan inti, bahan aktif, fase internal, atau pengisi, sedangkan bahan pelapisnya disebut sebagai bahan penyalut, pelapis, fase eksternal, atau pembawa (Agustin & Wibowo, 2021). Secara umum, enkapsulasi sebagai pembungkus bahan aktif (padat, cair, atau gas) oleh lapisan pelindung yang menyeluruh (Gambar 2.4 a).



**Gambar 2.3. Presentasi skematis dari struktur kapsul** (Abd WI-Kader & Abu Hashish., 2020)

Tujuan utama dari enkapsulasi adalah sebagai berikut. Mengamankan produk dari kondisi sekitar seperti suhu, kelembaban, dan lain-lain. Melindungi bahan aktif terhadap kerusakan dan membatasi penguapan (kehilangan) bahan yang mudah menguap. Melindungi dari paparan zat beracun dan berbahaya untuk meningkatkan keamanan selama proses penanganan. Mengaplikasikan metode pengeringan untuk mengubah bentuk cair dan padatan lengket menjadi serbuk

yang mudah mengalir. Serta menutupi karakteristik yang tidak diinginkan dari komponen aktif, seperti rasa dan bau (Abd WI-Kader & Abu Hashish, 2020).

Penerapan proses enkapsulasi menurut Abd WI-Kader & Abu Hashish, (2020) dan Jeyakumari *et al.*, (2016) mengatakan bahwa dalam industri makanan mencakup beberapa pertimbangan khusus, terutama yang berkaitan dengan pelarut dan bahan dinding secara umum yang diakui aman. Metode enkapsulasi dapat dibedakan dengan beberapa metode yang berbeda, diantaranya adalah sebagai berikut. Proses fisik terdiri dari *spray drying*; *fluid bed coating*, *spray chilling*, *freeze drying*, *extrusion* dan *co-crystallization*. Fisikokimia terdiri dari solvent evaporating (pemisahan fase organik), liposome entrapment, simple or complex coacervation (pemisahan fase cair). Proses kimia terdiri dari interfacial polymerization, dan molecular inclusion.

**Tabel 2.3 Keuntungan dan kerugian teknik enkapsulasi (Tolve *et al.*, 2022)**

<b>Teknik</b>	<b>Ukuran</b>	<b>Keuntungan</b>	<b>Kekurangan</b>
<i>Spray drying</i>	1 $\mu\text{m}$ – 100 $\mu\text{m}$	Proses cepat, hemat biaya, proses berkelanjutan sederhana, dapat diproduksi, produktivitas tinggi dan mudah ditingkatkan	Suhu lebih tinggi, rentang ukuran yang luas distribusi, dan kisaran polimer yang dapat digunakan terbatas.
<i>Freeze drying</i>	100 nm- 5 mm	Proses sederhana, suhu rendah, dan tidak adanya udara	Waktu produksi yang lebih besar, distribusi ukuran yang luas, dan biaya modal mahal
<i>Coacervation</i>	1 $\mu\text{m}$ –5 m	Suhu dan kehilangan penguapan rendah	Mahal dan rumit, sulit ditingkatkan skalanya, batch proses, dan proses pengeringan tambahan diperlukan
<i>Fluidized bed coating</i>	10 $\mu\text{m}$ – 20 $\mu\text{m}$	Ekonomis, cepat, tinggi produksi, dan penggunaan yang berbeda bahan pelapis	Suhu yang lebih tinggi, relatif sulit dikuasai durasi yang lebih lama
<i>Extrusion</i>	1 mm – 5 mm	Suhu lebih rendah, sederhana, dan biaya rendah	Tidak dapat membentuk mikrokapsul dalam bahan pelapis kental dan teknik lambat

Teknik enkapsulasi dalam industri pangan, diterapkan untuk menjaga karakteristik organoleptik suatu bahan, seperti warna, rasa, dan aroma. Metode ini juga berfungsi meningkatkan stabilitas komponen aditif, menutupi cita rasa atau bau yang kurang menyenangkan, mempermudah penanganan perisa, memberikan efek visual maupun tekstur baru, serta mengatur pelepasan aroma. Berbagai jenis substansi dapat dienkapsulasi, termasuk pewarna, perisa, vitamin, antioksidan, mineral, mikroorganisme hidup, pemanis, dan enzim. Penting diperhatikan bahwa bahan penyalut yang digunakan dalam enkapsulasi pangan harus aman dikonsumsi (Agustin & Wibowo, 2021).

Penerapan enkapsulasi sebagai metode penanganan bahan memberikan sejumlah manfaat, di antaranya: (1) mempermudah pengelolaan senyawa aktif; (2) memungkinkan imobilisasi komponen aktif; (3) meningkatkan kestabilan produk; (4) memperkuat aspek keamanan bahan; (5) memberikan tampilan yang lebih menarik; (6) memungkinkan pengaturan sifat bahan aktif, baik dari segi ukuran, struktur, maupun warna; serta (7) mendukung pelepasan senyawa secara terkontrol. Selain itu, memiliki berbagai keunggulan, penerapan enkapsulasi menambah kompleksitas tahapan produksi dan peningkatan biaya. Selain itu, menjaga stabilitas produk hasil enkapsulasi selama proses pengolahan dan penyimpanan masih menjadi tantangan yang signifikan (Agustin & Wibowo, 2021).

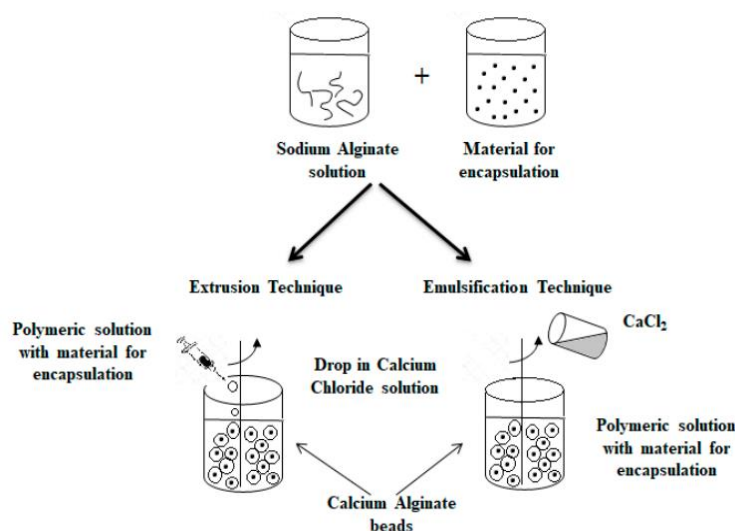
Teknologi enkapsulasi saat ini telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, termasuk industri kimia, medis, farmasi, maupun pangan (Calderon-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022). Khusus dalam industri pangan, penerapan enkapsulasi memiliki peran penting, yakni menjaga kestabilan komponen

makanan, mengendalikan pelepasan zat aktif secara teratur, serta meningkatkan mutu sensorik produk (Xu *et al.*, 2024). Penelitian Cozmuta *et al.* (2021) menerapkan enkapsulasi ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) dalam hidrogel berbasis alginat mampu memberikan kestabilan fermentasi yang lebih baik dibandingkan sel bebas ketika digunakan pada adonan beku. Selain itu, kombinasi alginat dengan pati meningkatkan efisiensi enkapsulasi hingga 18,7%. Sementara itu, penelitian Chávez-Falcón *et al.* (2022) mengenai enkapsulasi *Saccharomyces boulardii* dengan campuran agavins dan whey protein dalam sistem berbasis alginat menggunakan metode ionotropic gelation menunjukkan efisiensi penjebakan mencapai 94–97%, lebih tinggi dibandingkan kontrol. Sel yang terenkapsulasi juga mempertahankan viabilitas sekitar 88% setelah melalui simulasi pencernaan gastrointestinal secara *in vitro*.

### **2.3.1 Ekstrusi**

Ekstrusi merupakan metode yang telah lama digunakan dalam produksi mikropartikel. Proses ini dilakukan dengan membuat larutan hidrokoloid berbahan dasar polimer alami atau sintetis, seperti natrium alginat. Kemudian dicampurkan dengan bahan aktif yang akan dienkapsulasi. Suspensi yang dihasilkan ditekan membentuk tetesan ke dalam larutan pengeras, misalnya kalsium klorida, sehingga terbentuk butiran mikropartikel. Pemilihan alat yang digunakan bergantung pada skala produksi. Pada skala laboratorium, umumnya digunakan jarum suntik, sedangkan untuk skala yang lebih besar (*pilot scale*), digunakan alat ekstruder. Beberapa faktor seperti ukuran diameter jarum dan jarak antara ujung jarum dengan larutan pengeras sangat memengaruhi ukuran serta bentuk mikropartikel yang terbentuk (Letocha *et al.*, 2022).

Ekstruksi memiliki prinsip bekerja dengan cara menekan campuran cair yang mengandung senyawa fitokimia ke luar melalui lubang kecing, sehingga terbentuk butiran kecil. Butiran tersebut direndam dalam larutan khusus supaya menjadi padat skema pada (Gambar 2.3.1). Metode pre-enkapsulasi menggunakan agen pembentuk film sejak awal, menghasilkan dispersi inti yang lebih merata, tingkat enkapsulasi lebih tinggi (10–20%), serta minyak permukaan yang lebih rendah. Dengan penambahan lapisan pelindung tambahan, partikel pre-enkapsulasi memiliki struktur dinding yang lebih rapat dan stabil, sehingga memberikan perlindungan yang lebih baik terhadap bahan aktif (Rani & Kamble, 2024).



**Gambar 2.3.1 Skema Proses Enkapsulasi dengan Ekstrusi dan Emulsi** (Letocha *et al.*, 2024).

Kapsul Ca-alginat yang dihasilkan melalui metode ekstrusi terbentuk melalui ikatan elektrostatik antara kation kalsium dan gugus bermuatan negatif pada alginat. Namun, ikatan ini cukup rentan terhadap gangguan kimia, misalnya oleh fosfat atau sitrat, yang mampu mengikat ion kalsium sehingga menyebabkan kerusakan kapsul. Untuk meningkatkan ketahanan, penambahan lapisan polimer

polikationik organik seperti kitosan dapat membentuk ikatan tambahan dengan alginat (kitosan–alginat), sehingga kapsul tetap stabil meskipun ikatan Ca–alginat melemah. Selain itu, tekanan mekanis, seperti agitasi dalam fermentor atau akumulasi gas CO<sub>2</sub> di dalam kapsul, juga berpotensi merusak ikatan tersebut. Oleh karena itu, pelapisan membran kapsul dengan material anorganik, misalnya silika, dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap tekanan mekanis dan mencegah kegagalan struktur kapsul (Abdulmumin *et al.*, 2025).

Kelebihan utama teknik ekstrusi adalah prosedurnya yang sederhana dan biaya produksinya yang relatif rendah, sehingga banyak digunakan dalam penelitian awal dan pengembangan produk. Namun, metode ini memiliki keterbatasan ketika diterapkan pada skala industri, karena laju produksinya yang lambat membuatnya kurang efisien untuk proses manufaktur dalam jumlah besar (Letocha *et al.*, 2022).

Proses ekstrusi diawali dengan pembuatan larutan pelapis cair, diikuti oleh pendispersi bahan inti ke dalam matriks polimer cair. Campuran tersebut kemudian didinginkan atau dialirkan melalui medium dehidrasi untuk membentuk partikel. Ukuran partikel yang dihasilkan berkisar antara 200 hingga 5000 mikrometer. Salah satu keunggulan dari sistem matriks ini adalah kemampuan memperpanjang umur simpan produk, seperti minyak beraroma yang dapat bertahan hingga lima tahun setelah diekstrusi (Jeyakumari *et al.*, 2016).

Proses ekstrusi dimulai dengan formulasi larutan hidrokoloid yang mengandung sel probiotik, kemudian suspensi tersebut dialirkan melalui lubang sempit seperti jarum suntik sehingga menghasilkan tetesan yang jatuh secara bebas ke dalam medium pengeras. Teknik tetesan ini telah lama digunakan secara

luas karena biayanya yang rendah dan kemudahannya dalam aplikasi. Namun, keterbatasan utama dari metode ini adalah laju pepadatan mikrokapsul yang relatif lambat, sehingga menyulitkan proses skala-up (Pech-Canul *et al.*, 2020).

Jarak penetesan pada metode ekstrusi mempengaruhi proses pembentukan penetesan sebelum mengalami gelasi dalam larutan  $\text{CaCl}_2$ . Penelitian Valero-Cases *et al.* (2025) menggunakan jarak penetesan sebesar 5cm dan berhasil menghasilkan bead alginat yang stabil melalui proses gelasi dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,1 M. Sementara itu, penelitian Bevilacqua *et al.* (2020), Ghorbani *et al.* (2019), dan Calazans *et al.* (2024) juga menerapkan metode ekstrusi atau ionotropic gelation dengan larutan  $\text{CaCl}_2$  sebagai agen pengikat silang, meskipun tidak menjelaskan secara rinci jarak penetesan yang digunakan.

#### **2.4 Bahan Penyalut**

Proses enkapsulasi pada bahan penyalut berfungsi sebagai lapisan pelindung yang membungkus bahan inti (Safitri dkk., 2023). Pemilihan bahan penyalut pada enkapsulasi dengan metode ekstrusi harus mempertimbangkan beberapa karakteristik, antara lain mampu membentuk lapisan pelindung yang stabil, tidak bereaksi dengan bahan inti, memiliki kemampuan matriks yang kuat, serta mampu mempertahankan dan melindungi bahan yang dienkapsulasi selama proses penyimpanan maupun pengolahan (Monica & Sutedja., 2025). Menurut Gloriana & Sagita., (2021) mengatakan bahwa bahan penyalut harus biodegradable, membentuk larutan dengan viskositas rendah, tidak berpori, dan tidak toksik. Selain itu, menurut Fathi *et al.*, (2014) bahwa karakteristik yang paling penting dalam industri makanan untuk enkapsulasi yang digunakan adalah *food grade*, layak secara ekonomi dan mudah larut.

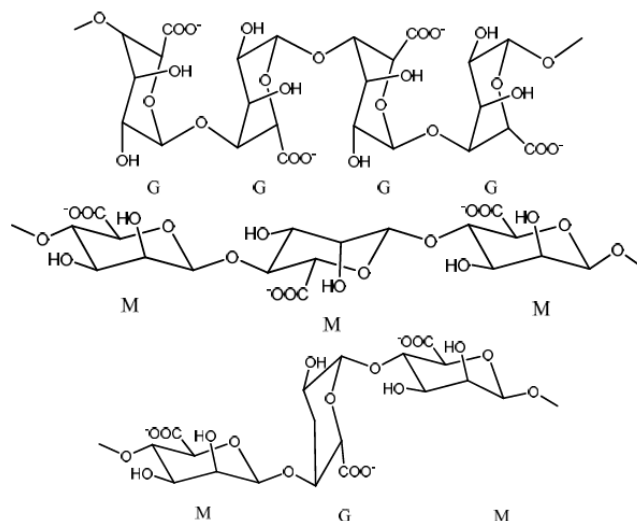
Bahan penyalut biasanya dikelompokkan ke dalam tiga jenis utama, yaitu karbohidrat, protein, dan lemak. Contoh karbohidrat yang digunakan antara lain pati dan turunannya (seperti maltodekstrin dan dekstran), selulosa (CMC), gum alami (gum arab, guar, chia), serta polisakarida dari alga seperti alginat dan karagenan (Gloriana & Sagita., 2021). Bahan penyalut enkapsulasi pada metode ekstrusi diantaranya ada padatan sirup jagung, gliserin, serta natrium alginat (Jeyakumari *et al.*, 2016). Pemilihan bahan penyalut akan menentukan sifat fisik yang dihasilkan (Safitri dkk., 2023).

Bahan penyalut yang digunakan dalam penelitian ini dari polisakarida alami dari alga coklat yakni natrium alginat, karena memiliki karakteristik yang mendukung proses enkapsulasi dengan metode ekstrusi. Menurut Bennacef *et al.*, (2021) bahwa alginat banyak dimanfaatkan dalam teknologi enkapsulasi karena sifat biokompatibilitasnya serta bersifat *food grade*. Selain itu, Bevilacqua *et al.*, (2020) menyatakan bahwa natrium alginat dipilih sebagai bahan penyalut karena memiliki sejumlah keunggulan, seperti bersifat tidak toksik, mudah terdegradasi secara alami (*biodegradable*), dan memiliki kompatibilitas biologis yang baik (*biokompatibel*), sehingga aman digunakan dalam produk makanan.

#### **2.4.1 Natrium Alginat**

Natrium alginat, dengan rumus kimia  $(C_6H_7NaO_6)_n$ , merupakan jenis polisakarida kompleks yang umum diperoleh dari alga coklat laut. Senyawa ini memiliki beragam kegunaan, terutama dalam bidang industri makanan (Polania *et al.*, 2023). Senyawa tersebut tersusun dari dua jenis monosakarida, yaitu asam D-mannuronat (M) dan L-gluronat (G), yang saling terhubung melalui ikatan 1-4. (Wang *et al.*, 2022). Alginat berat molekul rata-ratanya sekitar 216,121 g/mol. Jika mengalami hidrolisis parsial dalam kondisi asam, struktur molekulnya akan

terpecah menjadi tiga jenis fraksi: fraksi manuronat murni (MMMMM), fraksi guluronat murni (GGGGG), serta fraksi campuran yang terdiri dari unit manuronat dan guluronat secara bergantian (MGMGMG) (Gambar 2.4 a) (Frent *et al.*, 2022).

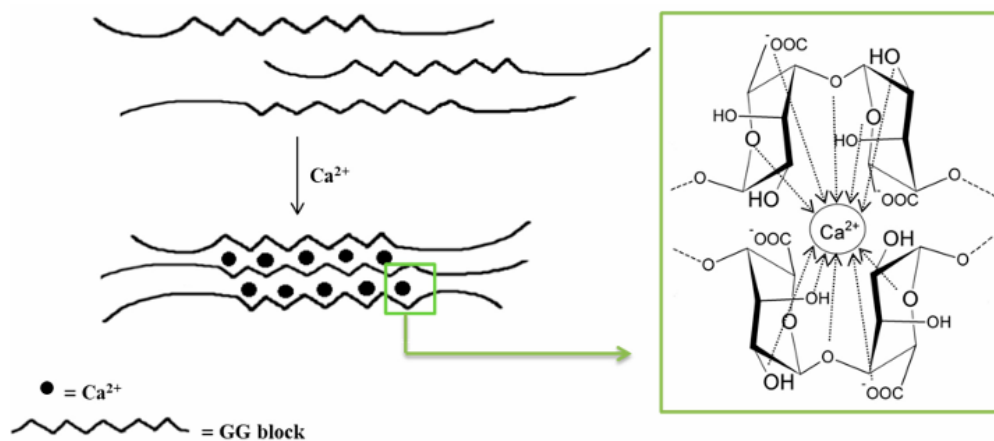


**Gambar 2.4.1 Struktur Kimia Sodium Alginate** (Frent *et al.*, 2022).

Ion logam yang bermuatan satu (seperti Na<sup>+</sup>) hanya bisa membentuk larutan biasa saat bereaksi dengan alginat, sehingga tidak membentuk gel. Sebaliknya, ion logam yang bermuatan dua atau lebih (seperti Ca<sup>2+</sup>), mampu membentuk gel atau endapan padat ketika berinteraksi dengan alginat. Kemampuan ini disebabkan oleh sifat alginat yang bisa menarik dan berikatan secara selektif dengan berbagai jenis ion logam. Alginat yang mengandung banyak blok guluronat (G-block) akan menghasilkan gel yang lebih kuat, karena bagian G ini memiliki kemampuan ikatan yang lebih baik dibandingkan bagian manuronat (M-block). Saat proses pembentukan gel terjadi, ion kalsium (Ca<sup>2+</sup>) berperan penting dengan menghubungkan rantai-rantai alginat melalui ikatan

ionik antara muatan positif  $\text{Ca}^{2+}$  dan muatan negatif pada gugus karboksilat alginate (Letocha *et al.*, 2022).

Setiap ion natrium ( $\text{Na}^+$ ) hanya bisa menempel pada satu titik di rantai alginat, sedangkan satu ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) mampu menghubungkan dua titik dari dua rantai berbeda, sehingga terbentuk jaringan yang saling terikat. Pergantian ion  $\text{Na}^+$  oleh  $\text{Ca}^{2+}$  ini terjadi dengan mudah saat larutan natrium alginat dicampur dengan larutan yang mengandung ion kalsium. Kekuatan dan sifat fisik gel yang terbentuk dipengaruhi oleh jumlah ion  $\text{Ca}^{2+}$  serta jenis garam alginat yang digunakan. Hasil akhirnya adalah struktur khusus yang dikenal sebagai model “Egg-box” pada Gambar 2.4.1. Dalam struktur ini, hanya bagian G-block yang aktif membentuk ikatan, menghasilkan susunan tiga dimensi yang rapi. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  kemudian “terperangkap” di antara dua rantai alginat tersebut, mirip seperti telur yang tersusun di dalam kotak telur (Letocha *et al.*, 2022).



**Gambar 2.4.1** Skema pembentukan gel alginate oleh kation kalsium (model “Egg box”) (Letocha *et al.*, 2022).

Proses pengikatan silang (*cross-linking*) yang terjadi secara langsung antara alginat dan ion kalsium menyebabkan terbentuknya partikel dengan ukuran

dan tingkat porositas yang bervariasi. Kekuatan gel yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan tingginya kandungan blok guluronat (G-block) dalam struktur alginat (Letocha *et al.*, 2022). Selain itu, faktor dalam proses cross-linking juga sangat berpengaruh. Untuk melarutkan alginat ke dalam air, diperlukan suhu antara 60 hingga 80 °C. Gel alginat tidak larut dalam lingkungan yang bersifat asam. Teknik yang digunakan untuk membentuk partikel alginat juga memengaruhi ukuran kapsul yang dihasilkan, mulai dari nanopartikel hingga makropartikel. Makropartikel adalah partikel yang berukuran lebih dari 1000 mikron dan dapat terlihat dengan mata telanjang. Jenis partikel ini umumnya digunakan dalam produk suplemen makanan (Letocha *et al.*, 2022).

Secara umum teknik enkapsulasi menggunakan alginat dibagi menjadi tiga kelompok utama menurut (Letocha *et al.*, 2022) yaitu sebagai berikut:

1. Metode fisik, seperti spray drying (pengeringan semprot), ekstrusi, liofilisasi (pengeringan beku), presipitasi menggunakan fluida superkritik, dan evaporasi pelarut.
2. Metode fisikokimia, yang mencakup koaservasi, pembentukan liposom, dan gelasi ionik.
3. Metode kimia, seperti polimerisasi antarmuka dan pembentukan kompleks inklusi molekuler.

Pembuatan kapsul berbasis alginat, metode yang paling sering digunakan adalah teknik *spray drying* serta metode ekstrusi atau emulsifikasi/gelasi. Teknik-teknik ini dipilih karena efisien dan sesuai dengan sifat alami alginat yang mudah membentuk gel saat bereaksi dengan ion kalsium.

#### 2.4.2 Konsentrasi Natrium Alginat

Konsentrasi natrium alginat berperan penting dalam menentukan kualitas fisik dan fungsional bead hasil enkapsulasi, karena memengaruhi struktur, porositas, kemampuan difusi, serta tingkat perlindungan mikroba di dalam matriks. Natrium alginat merupakan polisakarida anionik yang mampu membentuk jaringan tiga dimensi (gel) melalui ikatan ionik antara gugus karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ) dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Proses ini menciptakan lapisan pelindung yang biokompatibel, tidak toksik, dan stabil (Łętocha *et al.*, 2022). Namun, efektivitas lapisan tersebut sangat ditentukan oleh konsentrasi alginat yang digunakan. Pada kadar yang terlalu rendah, jaringan gel yang terbentuk akan tipis dan mudah rusak, sedangkan pada kadar terlalu tinggi, bead menjadi sangat padat, menyebabkan difusi nutrisi, oksigen, dan pelepasan sel menjadi terhambat (Sadeghi *et al.*, 2024; Venkatachalam *et al.*, 2025).

Penelitian Zamora-Vega *et al.*, (2012), berfokus pada bagaimana meningkatkan perlindungan dan stabilitas *S. boulardii* selama penyimpanan melalui teknik mikroenkapsulasi, terutama menggunakan metode emulsi. Pada penelitian ini, menggunakan natrium alginat 1% sebagai bahan dasar kapsul, kemudian mengombinasikannya dengan prebiotik seperti inulin dan mucilage dari *Opuntia ficus-indica* untuk melihat apakah tambahan tersebut dapat memperbaiki struktur kapsul dan mempertahankan viabilitas sel. Dari hasil pengamatan, kapsul yang dibuat hanya dengan 1% natrium alginat menunjukkan tekstur gel paling keras tetapi kurang elastis, sehingga cenderung rapuh. Pengamatan mikroskop elektron (SEM) juga menunjukkan bahwa kapsul dengan alginat 1% memiliki permukaan yang kasar, tidak seragam, dan menunjukkan retakan, sehingga strukturnya kurang ideal untuk melindungi sel. Sebaliknya, ketika alginat

dikombinasikan dengan inulin dan mucilage, permukaan kapsul menjadi lebih halus, lebih seragam, dan lebih stabil, menunjukkan bahwa penambahan prebiotik membantu memperbaiki kualitas bead. Selain itu, formulasi yang ditambah prebiotik juga terbukti lebih mampu mempertahankan viabilitas ragi selama penyimpanan 35 hari, dibandingkan ragi bebas.

Penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) menggunakan natrium alginat dengan konsentrasi 2% (w/v) untuk mengenkapsulasi lima strain *S. cerevisiae*, termasuk *S. cerevisiae* var. *bouardii*, melalui metode ekstrusi ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,5%. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi enkapsulasi mencapai 93,75%, dengan viabilitas sel terjaga selama 30 hari pada suhu 4 °C, namun mengalami penurunan sekitar tiga log siklus setelah tujuh hari penyimpanan pada suhu ruang. Selain itu, kinetika pelepasan sel menunjukkan bahwa hingga 48 jam, manik-manik alginat masih mempertahankan jumlah sel tinggi, menandakan kemampuan pelepasan bertahap yang baik. Penelitian ini menegaskan bahwa konsentrasi 2% sudah cukup optimal untuk mempertahankan kelangsungan hidup ragi tanpa mengganggu sifat fungsionalnya seperti kemampuan membentuk biofilm dan autoagregasi.

Selanjutnya, Calazans *et al.*, (2024) menggunakan 2% natrium alginat untuk proses mikroenkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* strain UFMG A-905 dalam pengembangan roti fungsional. Mikroenkapsulasi dilakukan dengan metode ionotropic gelation, di mana suspensi alginat 2% yang mengandung  $10^9$  CFU/mL sel ragi ditetaskan ke larutan  $\text{CaCl}_2$  0,1 M menggunakan atomizer nozzle, kemudian dikeringkan melalui proses liofilisasi. Pada hasil uji viabilitas, penambahan mikroenkapsul ini terbukti sangat efektif mempertahankan sel ragi

hidup, yang dibuktikan melalui pengukuran jumlah ragi dalam feses. Pada hari pertama perlakuan, semua kelompok hewan memiliki angka ragi yang rendah dan tidak berbeda signifikan. Namun, pada hari pertama sensitisasi dan hari tantangan OVA, hanya hewan yang menerima roti UFMG-A905-C (dengan mikrokapsul) yang menunjukkan peningkatan signifikan jumlah sel ragi hidup dalam feses. Tikus pada kelompok ini memiliki  $6,5 \times 10^6 \pm 1,9 \times 10^6$  CFU/g (hari sensitisasi) dan meningkat hingga  $4,0 \times 10^7 \pm 5,1 \times 10^6$  CFU/g feses pada hari tantangan. Sebaliknya, kelompok yang menerima roti tanpa mikrokapsul maupun roti komersial tidak menunjukkan peningkatan ragi hidup dalam feses, menandakan bahwa proses pemanggangan membunuh hampir seluruh sel ragi tanpa perlindungan.

Penelitian oleh Ghorbani-Choboghlo *et al.*, (2015) menggunakan konsentrasi 2% natrium alginat dengan metode ekstrusi sederhana untuk menilai ketahanan *S. cerevisiae* (ATCC 9763) dalam kondisi lambung dan usus buatan. Larutan alginat 2% yang berisi suspensi sel diteteskan menggunakan syringe ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  0,1 M hingga membentuk manik berukuran 50–90  $\mu\text{m}$ . Uji ketahanan menunjukkan bahwa sel bebas mengalami penurunan 4 log CFU setelah dua jam di pH 2–8, sedangkan sel yang dienkapsulasi hanya menurun 2 log CFU. Hasil tersebut menandakan bahwa enkapsulasi 2% alginat mampu meningkatkan ketahanan sel hingga dua kali lipat terhadap kondisi ekstrem lambung, memperkuat bukti efektivitas konsentrasi ini dalam melindungi sel ragi dari stres asam.

Penelitian Pereira *et al.*, (2014) meneliti pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap performa fermentasi *Saccharomyces cerevisiae* strain

QA23 dan ICV D47 pada produksi minuman mead menggunakan metode ekstrusi tetes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa enkapsulasi 2% menghasilkan kadar etanol akhir sebesar 11,3–11,5% (v/v), sedangkan pada 4% alginat kadar etanol sedikit lebih rendah, yaitu 10,5–10,8% (v/v) setelah 120 jam fermentasi. Aktivitas fermentasi pada 2% lebih cepat karena difusi substrat lebih mudah masuk ke dalam matriks gel, sementara 4% memiliki laju fermentasi lebih lambat akibat struktur gel yang lebih rapat. Meskipun demikian, bead dari 4% alginat memiliki berat basah lebih tinggi (~5,1 g) dibandingkan 2% (~3,6 g), menandakan struktur gel yang lebih padat, kemampuan menahan air lebih besar, dan stabilitas mekanik lebih baik selama fermentasi.

Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Sousa-Dias *et al.*, (2021) yang menggunakan *S. cerevisiae* ICV D47 dalam sistem fermentasi berulang hingga lima siklus. Produksi etanol yang dihasilkan oleh ragi bebas mencapai  $58 \pm 4\%$ , sedangkan pada ragi terenkapsulasi 2% natrium alginat berkisar antara 48–58%, dan pada 4% alginat sebesar 48–56%, tanpa perbedaan signifikan secara statistik. Namun, bead 4% menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih stabil ( $0,08\text{--}0,21\text{ h}^{-1}$ ) serta dapat digunakan hingga lima kali fermentasi tanpa mengalami kerusakan struktural, sementara bead 2% cenderung lebih cepat menurun performanya pada fermentasi berulang. Hal ini menandakan bahwa peningkatan konsentrasi alginat memperkuat ikatan gel dan meningkatkan daya tahan mekanik bead, meskipun sedikit menurunkan laju difusi substrat dan aktivitas fermentatif awal.

Terakhir, penelitian terbaru oleh Valero-Cases *et al.*, (2025) menggunakan variasi 2%, 4%, dan 6% natrium alginat untuk menilai pengaruh konsentrasi terhadap karakteristik bead multikomponen (alginat/xanthan/glycerol) yang

mengandung *Lactobacillus acidophilus*. Proses ekstrusi dilakukan menggunakan pompa injeksi ke larutan  $\text{CaCl}_2$  0,1 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kapsul dengan 6% alginat memiliki ukuran terbesar (2,61 mm), kadar air terendah (91,42%), dan kemampuan mengembang tertinggi (97,55%), menandakan struktur gel yang lebih rapat dan padat. Efisiensi enkapsulasi (EE) juga mencapai 97,55%, tertinggi di antara semua perlakuan, dan menghasilkan viabilitas awal 8,25 log CFU/g. Selain itu, kapsul 6% menunjukkan ketahanan paling tinggi terhadap simulasi pencernaan, dengan viabilitas akhir 8,24 log CFU/g (80% sel bertahan), serta mampu mempertahankan viabilitas di atas 8,4 log CFU/g pada kondisi stres osmotik hingga NaCl 20%. Dalam uji penyimpanan selama 15 hari pada suhu 4 °C, kapsul 6% juga menunjukkan kemampuan proteksi terbaik, dengan jumlah bakteri yang tetap berada di dalam kapsul sebesar 8,9 log CFU/g, dan kebocoran sel ke media hanya sekitar 4,7 log CFU/mL. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur gel pada konsentrasi tinggi mampu menjaga stabilitas dan mencegah kehilangan viabilitas selama penyimpanan produk.

## **2.5 Pelepasan Sel dari Bead Enkapsulasi**

Pelapisan menggunakan kitosan terbukti mampu menekan pelepasan sel pada tahap awal fermentasi, dan efek ini menjadi lebih signifikan ketika dikombinasikan dengan alginat. Dalam proses enkapsulasi, mikroba terperangkap di dalam matriks gel alginat yang membatasi pergerakannya. Seiring pertumbuhan, tekanan dari aktivitas sel menyebabkan gel di sekitarnya terdorong, membentuk koloni yang secara bertahap mendekati permukaan manik alginat. Jika koloni terus berkembang, tekanan internal dapat memicu pecahnya struktur

gel, sehingga isi koloni termasuk sel bakteri terlepas ke dalam medium fermentasi (Oktarina dkk., 2017).

Pelepasan sel ragi dari bead enkapsulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor. Penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) mengatakan salah satu faktor utama adalah kondisi pengadukan pada adonan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa dalam kondisi adonan diaduk pelepasan sel ragi dari bead meningkat lebih signifikan dibandingkan kondisi tanpa penadukan. Hal tersebut disebabkan adanya gaya geser dan pergerakan cairan yang secara mekanis membantu merusak struktur permukaan bead dan mempercepat terbentuknya retakan pada bead. Selain itu, penelitian Chavez-Falcon *et al.*, (2022) menjelaskan bahwa dalam medium yang bergerak, perpindahan massal menjadi lebih efisien sehingga sel lebih mudah terlepas dari gel aginat.

Selain itu, aktivitas sel khamir didalam bead enkapsulasi masih melakukan metabolisme dasar untuk mempertahankan sel khamir tetap hidup dan aktif. Metabolisme ini tidak selalu diikuti oleh pertumbuhan atau pembelahan sel, tetapi lebih berfungsi untuk menjaga integritas membran, aktivitas enzim, dan fungsi seluler lainnya agar sel tetap hidup selama penyimpanan bead enkapsulasi (Bevilacqua *et al.*, (2020). Serta menurut Bustos-Terrones, (2024) mengatakan bahwa matriks alginat mampu melindungi mikroorganisme dari kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Kondisi tersebut memungkinkan mikroorganisme yang terenkapsulasi tetap mempertahankan viabilitas sel.

Faktor berikutnya adalah konsentrasi alginat. Semakin tinggi konsentrasi alginat, struktur gel bead semakin rapat dan kuat, sehingga pelepasan ragi lebih lambat. Sebaliknya, konsentrasi rendah menghasilkan gel yang lunak dan

memungkinkan sel keluar lebih cepat. Bead dengan konsentrasi 4% alginat lebih stabil dan tahan untuk fermentasi berulang dibandingkan 2% alginat yang lebih cepat terdegradasi, sehingga pemilihan konsentrasi alginat perlu disesuaikan dengan tujuan aplikasi, misalnya pelepasan cepat untuk fermentasi awal atau pelepasan lambat untuk penyimpanan jangka panjang (Sousa-Dias *et al.*, 2021).

Peningkatan jumlah sel yang dilepaskan selama inkubasi berkaitan dengan perubahan struktur bead alginat akibat keberadaan NaCl. Ion Na<sup>+</sup> yang berasal dari larutan NaCl dapat melemahkan ikatan silang Ca<sup>2+</sup> pada matriks alginat sehingga menyebabkan terjadinya pembesaran pori-pori bead. Ketika struktur bead menjadi lebih longgar dan pori-porinya membesar, sel khamir yang berada di dalam matriks akan lebih mudah berdifusi keluar ke medium. Dengan demikian, semakin lama waktu inkubasi, semakin banyak sel yang dapat dilepaskan dari bead alginat (Colin *et al.*, 2024).

Lapisan pelindung juga memegang peranan penting. Pelapisan kitosan dapat memperkecil ukuran pori gel dan memperkuat bead dari luar, sehingga stabilitas bead meningkat, terutama pada kondisi asam, garam, atau geseran ringan. Namun, lapisan ini dapat memperlambat pelepasan ragi karena sel harus menembus penghalang tambahan. Bead berlapis kitosan cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol pelepasan lebih ketat, tetapi perlu disesuaikan jika digunakan pada proses yang melibatkan pengadukan intensif (Chávez-Falcón *et al.*, 2022). Sebaliknya, studi oleh Bevilacqua *et al.* (2020) menunjukkan bahwa bead yang hanya menggunakan konsentrasi 2% Na-alginat tanpa lapisan pelindung memiliki struktur gel yang lebih longgar, sehingga sel ragi dapat terlepas lebih bebas dan cepat. Hal ini menegaskan bahwa keberadaan atau

ketiadaan lapisan pelindung luar secara langsung memengaruhi kinetika pelepasan sel. Tanpa pelindung, pelepasan lebih cepat tetapi kontrol lebih rendah, sedangkan dengan kitosan, pelepasan menjadi lebih lambat dan terkendali.

## 2.6 Produksi CO<sub>2</sub>

Daya kembang roti berkaitan erat dengan kemampuan adonan dalam membentuk dan menahan gas yang dihasilkan selama fermentasi. Besar kecilnya pengembangan volume roti yang dihasilkan dapat ditentukan oleh fermentasi yang dilakukan sebelum adonan dipanggang. Apabila selama fermentasi adonan mengembang dengan baik maka roti yang dihasilkan memiliki pengembangan volume yang besar juga. Protein pada tepung apabila dicampurkan dengan air maka akan membentuk massa elastis yang disebut gluten. Sifat elastis dari gluten tersebut memungkinkan adonan bisa menahan gas hasil dari fermentasi, hal tersebut yang akan mengembangkan adonan pada roti (Purba dkk., 2025).

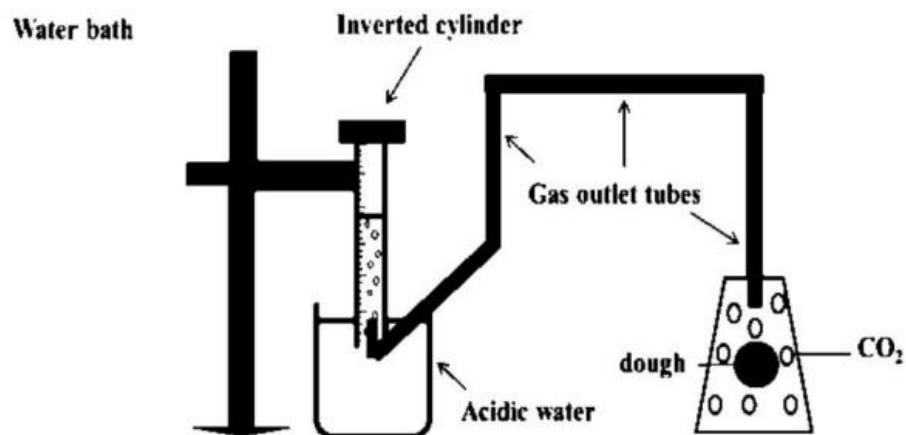
*Saccharomyces cerevisiae* merupakan ragi utama yang digunakan dalam pembuatan roti karena kemampuannya menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) selama proses fermentasi. Gas ini berperan penting dalam mengembangkan adonan sekaligus membentuk karakteristik sensorik khas roti. Kualitas ragi roti sangat ditentukan oleh kemampuan pengembangannya, sebab jumlah gas yang dihasilkan menjadi indikator utama untuk menilai aktivitas fermentasi. Keberhasilan proses pembuatan roti sendiri bergantung pada pembentukan gas, terutama pada tahap akhir fermentasi. Untuk mengevaluasi aktivitas ragi, terdapat beberapa metode yang umum digunakan, seperti mengukur waktu yang dibutuhkan adonan untuk mencapai volume tertentu atau menilai seberapa besar adonan mengembang dalam periode waktu tertentu. Cara kedua lebih praktis

dilakukan dengan mengamati peningkatan volume adonan selama fermentasi, sedangkan produksi gas dapat diperkirakan melalui berbagai prosedur, antara lain metode perekam kenaikan oven, alveografi, maupun pengukur tekanan (Rad & Kasaie, 2017).

Pengukuran produksi CO<sub>2</sub> menggunakan salah satu metode, yaitu metode gasografi. Metode gasografi menggunakan alat khusus dengan saluran untuk mengukur gas. Saat ini, alat tersebut sudah terhubung dengan komputer sehingga lebih praktis. Karena aktivitas biologis ragi sangat penting, para ilmuwan menaruh perhatian besar pada hal ini. Penelitian mereka biasanya terbagi menjadi dua fokus utama: pertama, menghitung jumlah karbon dioksida yang dihasilkan ragi, dan kedua, menilai apakah ragi tetap hidup. Untuk mengetahui seberapa banyak gas yang diproduksi, para peneliti mengukur volume serta tekanan gas yang terbentuk (Kasaie *et al.*, 2017).

Pengukuran langsung volume adonan sebagai hasil produksi CO<sub>2</sub> selama proofing dilakukan dengan menggunakan alat ukur sederhana (Gambar 2.6). Adonan yang mengandung ragi ditempatkan di dalam wadah tertutup yang dihubungkan dengan tabung pengeluaran gas (*gas outlet tube*). Saat fermentasi berlangsung, ragi menguraikan gula dan menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Gas ini kemudian dialirkan melalui pipa menuju sistem penampungan. Ujung pipa terhubung ke dalam gelas ukur terbalik yang terendam sebagian dalam air asam (*acidic water*) pH 2,5. Air asam digunakan untuk mencegah larutnya CO<sub>2</sub> ke dalam air dan menjaga agar gas yang dihasilkan dapat tertampung seluruhnya. Ketika gas CO<sub>2</sub> masuk ke dalam gelas ukur, air di dalam gelas ukur akan terdorong ke bawah sehingga volume air yang berpindah mencerminkan jumlah gas CO<sub>2</sub>

yang dihasilkan oleh adonan. Dengan demikian, volume gas CO<sub>2</sub> yang terukur pada gelas ukur merupakan indikator aktivitas fermentasi ragi. Semakin besar volume gas yang dihasilkan, semakin tinggi pula aktivitas metabolisme ragi dalam menghasilkan CO<sub>2</sub> selama proses fermentasi roti (Kasaie *et al.*, 2017).



**Gambar 2.6** Alat ukur pengujian CO<sub>2</sub> (Kasaie *et al.*, 2017).

Aktivitas fermentasi *Saccharomyces cerevisiae* dapat dievaluasi melalui metode gasography dengan prinsip didasarkan pada kemampuan khamir mengubah gula menjadi etanol dan gas karbondioksida melalui fermentasi anaerob. Pengamatan dilakukan selama 30 menit menunjukkan bahwa volume gas meningkat secara bertahap seiring bertambahnya waktu fermentasi, dengan peningkatan yang relatif cepat pada fase awal fermentasi. Berdasarkan pembacaan grafik, volume CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada 30 menit pertama diperkirakan telah mencapai sekitar 1,5 v/mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses fermentasi telah berlangsung aktif sejak awal inkubasi dan terus meningkat hingga akhir pengamatan (Kasaie *et al.*, 2017).

## 2.7 Roti

Roti merupakan hasil dari proses fermentasi yang melibatkan ragi, yang berperan penting dalam membentuk karakteristik mutu roti seperti volume, aroma, cita rasa, warna, dan tekstur. Proses pengembangan adonan terjadi melalui aktivitas ragi yang memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi. Dalam mekanismenya, ragi mengonversi karbohidrat menjadi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan alkohol. Gas  $\text{CO}_2$  tersebut menghasilkan terbentuknya struktur berpori pada adonan, menghasilkan pengembangan volume, serta memberikan aroma khas yang muncul selama proses pemanggangan (Ridhani dkk., 2021).

Fermentasi gula oleh ragi menjadikan sel khamir sebagai agen pengembang yang penting dalam adonan roti. Gas yang dihasilkan selama fermentasi menyebabkan adonan mengembang, membentuk struktur gluten yang mampu menahan gas secara optimal, dan menghasilkan senyawa volatil serta asam organik yang memperkaya cita rasa dan aroma roti. Dalam kondisi lingkungan yang mendukung, gelembung gas yang terbentuk akan jenuh oleh karbon dioksida, memperluas volume adonan dan menipiskan matriks antar sel gas. Kemampuan adonan untuk menahan gas menjadi indikator utama kualitas roti dan efektivitas ragi. Semakin banyak dan merata distribusi sel gas, semakin tinggi ketahanan adonan terhadap tekanan, meskipun dapat menurunkan kelenturan namun meningkatkan volume spesifik roti. Saat dipanggang, etanol dan sebagian air menguap, membentuk remah roti yang ringan dan berpori (Parapouli *et al.*, 2020).

Selain karbohidrat dan ragi, terdapat tiga kelompok bahan berperan penting, yaitu bahan utama, bahan perasa, dan bahan tambahan. Bahan utama terdiri dari tepung terigu, ragi, dan air. Bahan perasa meliputi gula, garam, lemak, susu, dan

telur, yang berfungsi untuk memberikan cita rasa, aroma, dan kelembutan pada produk akhir. Sementara itu, bahan tambahan mencakup bread improver, emulsifier, dan pengawet. Bread improver dan emulsifier digunakan untuk meningkatkan mutu dan stabilitas adonan, sedangkan pengawet berperan dalam mencegah pertumbuhan mikroba kontaminan, sehingga memperpanjang umur simpan roti dan menjaga kualitasnya (Sitepu, 2019).

Bahan utama dalam pembuatan roti adalah tepung terigu protein tinggi (hard wheat) dimana jenis tepung ini mampu menyerap air dalam jumlah yang besar, sehingga mencapai konsistensi adonan yang tepat. Selain itu, memiliki elastisitas yang baik untuk menghasilkan roti dengan remah yang halus, tekstur lembut, volume besar dan mengandung 12-13% protein. Tepung terigu memiliki kandungan protein gliadin dan glutenin yang ketika tercampur dengan air akan membentuk jaringan gluten. Adanya gluten menjadikan roti mengembang ketika dalam proses pembuatannya. Jaringan sel-sel gluten cukup kuat untuk menahan gas yang terbentuk sehingga adonan roti tidak mengempis kembali (Purba dkk., 2025).

Dalam proses pembuatan roti, sumber utama gula dalam adonan berasal dari tiga komponen, yaitu gula alami yang terdapat dalam tepung (glukosa, fruktosa, sukrosa, dan maltosa), gula tambahan yang dimasukkan oleh pembuat roti, serta maltosa yang terbentuk dari pemecahan pati oleh enzim amilase (Parapouli *et al.*, 2020). Sel ragi memanfaatkan gula-gula sederhana tersebut, terutama glukosa dan fruktosa hasil hidrolisis karbohidrat kompleks seperti sukrosa, maltosa, dan pati, kemudian mengubahnya menjadi karbon dioksida dan etanol melalui proses fermentasi. Aktivitas ini didukung oleh sejumlah enzim yang dihasilkan khamir,

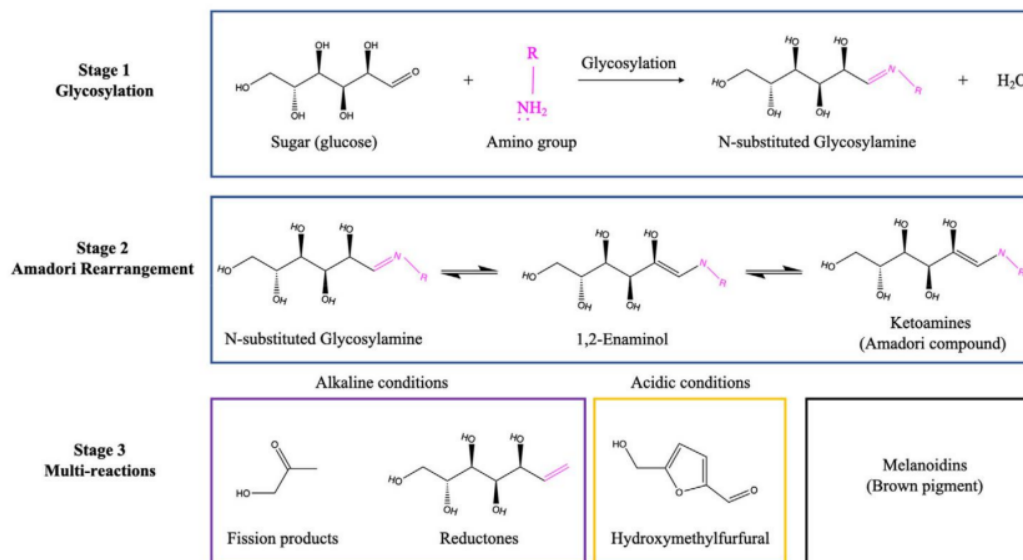
antara lain amilase, invertase, maltase, dan zymase (Wati dkk., 2020; Kusnedi, 2021). Enzim amilase berperan menguraikan pati menjadi maltosa, invertase menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, sedangkan zymase mengkatalisis konversi gula sederhana tersebut menjadi alkohol dan karbondioksida sebagai produk utama fermentasi (Ridhani *et al.*, 2021; Kusnedi, 2021).

Enzim maltase berperan dalam mengonversi maltosa menjadi glukosa (Ibrahim *et al.*, 2022). Enzim protease memecah protein dalam tepung menjadi senyawa nitrogen yang dapat diserap oleh sel khamir untuk mendukung pembentukan sel baru. Penambahan nitrogen ini memberikan efek positif terhadap pertumbuhan khamir (Zahroh, dkk 2022). Adapun enzim lipase berfungsi menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol.

Proses pembuatan roti terdiri atas tiga tahap utama, yaitu pencampuran bahan, fermentasi (peragian), pembentukan, dan pemanggangan. Tahap awal melibatkan pencampuran seluruh komponen hingga homogen, dengan tujuan membentuk jaringan gluten serta meningkatkan kohesi adonan. Selanjutnya, tahap fermentasi memungkinkan adonan mengalami pengembangan volume melalui aktivitas khamir. Pada tahap akhir, yaitu pemanggangan, terjadi peningkatan suhu yang cepat hingga mencapai sekitar 60°C, di mana aktivitas metabolik khamir terhenti akibat suhu tinggi. Alkohol yang dihasilkan selama fermentasi menguap, menyebabkan peningkatan tekanan dalam oven, bersamaan dengan proses gelatinisasi pati dan degradasi struktur gluten. Kondisi ini memicu pembentukan lapisan kerak (*crust*) pada permukaan roti. Selain itu, pemanggangan

menghasilkan warna kecoklatan pada roti sebagai akibat dari reaksi *Maillard* dan karamelisasi gula (Sitepu, 2019).

Glukosa merupakan bentuk karbohidrat sederhana atau sering disebut dengan gula sederhana (Purba dkk., 2025) Selama proses pemanggangan dalam pengolahan pangan, komponen gula mengalami perubahan signifikan melalui reaksi pencoklatan non-enzimatik, yang meliputi reaksi *Maillard* dan karamelisasi (Anggraeni dkk., 2017). Reaksi *Maillard* merupakan reaksi yang terjadi antara karbohidrat yang mengandung gula reduksi dengan gugus amina primer yang akan menghasilkan warna coklat atau menoidin pada gambar 2.7 (Purba dkk., 2025). Sementara itu, reaksi karamelisasi berlangsung ketika gula dipanaskan melebihi temperatur, memicu transformasi warna dari gelap hingga coklat (Anggraeni dkk., 2017; Sitepu, 2019).



**Gambar 2.7 Mekanisme reaksi Maillard** (Cao *et al.*, 2023)

Garam juga merupakan salah satu bahan penting dalam pembuatan roti, akan tetapi perlu ditambahkan dalam jumlah yang sedikit. Penambahan garam

lebih dari 1% dapat menghambat proses fermentasi karena sifatnya yang menyerap dan mengikat air. Jumlah garam yang berlebihan menurunkan kadar air dalam adonan sehingga pertumbuhan khamir terhambat. Sebaliknya, penggunaan garam dalam takaran yang tepat dapat memengaruhi laju fermentasi sekaligus menekan pertumbuhan bakteri psikrofilik. Air juga berperan penting dalam pembuatan roti, baik sebagai pelarut yang mengaktifkan dan mencampurkan bahan, maupun sebagai pengikat protein yang mendukung pembentukan gluten (Chendawati, 2013).

## **2.8 Kualitas Roti**

Kualitas roti menjadi faktor utama yang menentukan penerimaan konsumen. Secara umum, kualitas diartikan sebagai tingkat kesesuaian produk dengan kebutuhan pemakai, dan dalam arti sempit merujuk pada kesesuaian produk terhadap standar yang telah ditetapkan (Yana, 2015). Variasi bahan baku serta proses pembuatan berpengaruh besar terhadap mutu roti; penggunaan bahan berkualitas dan teknik pengolahan yang tepat akan menghasilkan roti dengan mutu yang baik. Keberhasilan fermentasi tercermin dari karakteristik roti yang dihasilkan, meliputi volume adonan serta sifat organoleptik seperti warna, aroma, tekstur, dan rasa (Saepudin dkk., 2017).

### **2.8.1 Pengujian Volume Pengembangan Adonan**

Volume pengembangan roti ditentukan oleh kemampuan adonan dalam membentuk serta menahan gas hasil fermentasi (Lestari dkk., 2019). Selama fermentasi, akumulasi gas menyebabkan peningkatan volume adonan secara bertahap. Faktor-faktor yang memengaruhi produksi gas antara lain konsentrasi bahan, jumlah gula, jumlah ragi, dan suhu fermentasi (Saputra dan Johan, 2016).

Pengukuran volume adonan dapat dilakukan secara manual menggunakan penggaris, dengan cara mengukur tinggi adonan (Saepudin dkk., 2017).

### **2.8.2 Pengujian Organoleptik**

Kualitas roti dapat dievaluasi melalui uji organoleptik, yaitu metode penilaian produk menggunakan pancaindra manusia. Teknik ini bertujuan menilai mutu roti sekaligus mengukur daya tariknya bagi konsumen (Surono dkk., 2017). Salah satu pendekatan yang digunakan adalah uji hedonik, di mana panelis atau konsumen memberikan penilaian terhadap tingkat kesukaan mereka. Uji hedonik menilai kepuasan konsumen berdasarkan parameter warna, aroma, tekstur, dan rasa dengan menggunakan skala hedonik sebagai indikator (Choiriyah & Dewi, 2020).

Warna pada roti umumnya terbentuk melalui reaksi Maillard, yaitu interaksi antara karbohidrat khususnya gula pereduksi seperti glukosa dan fruktosa dengan gugus amina primer dari asam amino, peptida, atau protein (Winarno, 2004). Reaksi ini menghasilkan senyawa berwarna coklat yang memberikan ciri visual khas pada roti (Catrien dkk., 2008). Intensitas warna sangat dipengaruhi oleh suhu dan lama pemanggangan; semakin tinggi suhu dan semakin panjang waktu pemanasan, semakin cepat dan kuat reaksi Maillard berlangsung, sehingga menghasilkan warna coklat pekat serta rasa yang lebih kompleks (Andragogi dkk., 2018).

Selain warna, aroma juga menjadi indikator penting dalam menilai mutu roti. Aroma khas terbentuk selama proses fermentasi dan pemanggangan melalui pembentukan senyawa volatil seperti asam, aldehid, dan ester (Sitepu, 2019). Aroma ini memengaruhi kesan pertama konsumen serta tingkat penerimaan produk (Haryani dkk., 2017). Bahkan sebelum mencicipi, konsumen akan menilai

kelayakan roti berdasarkan aroma yang tercium (Suroño dkk., 2017). Selama pemanggangan, reaksi Maillard dan karamelisasi berperan besar dalam menghasilkan aroma khas; Maillard membentuk senyawa aromatik kompleks, sedangkan karamelisasi pemecahan gula pada suhu tinggi meningkatkan aroma manis yang khas (Koswara, 2009).

Selain itu, tekstur roti juga menentukan preferensi konsumen. Roti yang disukai umumnya bertekstur lembut dan berpori (Lestari dkk., 2018). Tekstur ini terbentuk dari interaksi bahan adonan seperti tepung, gula, susu, telur, dan ragi. Selama fermentasi, ragi menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang terperangkap dalam jaringan gluten sehingga adonan mengembang. Komponen tambahan seperti gula, susu, dan telur memperkuat struktur gluten agar gas tidak mudah keluar, menghasilkan roti yang empuk dan bertekstur baik (Sitepu, 2019). Semakin banyak ragi yang digunakan, semakin tinggi produksi CO<sub>2</sub>, sehingga daya kembang adonan meningkat (Koswara, 2009).

Rasa khas roti terbentuk dari kombinasi bahan adonan serta reaksi yang terjadi selama fermentasi dan pemanggangan. Rasa menjadi faktor utama dalam menentukan penerimaan konsumen, karena muncul dari stimulasi indera pengecap oleh senyawa kimia dalam makanan (Rahmadhanimara & Purwinarti, 2022). Pada tahap fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae* mengubah komponen adonan menjadi senyawa yang memberikan cita rasa khas. Selanjutnya, proses pemanggangan memicu reaksi Maillard dan karamelisasi yang memperkaya rasa sekaligus aroma roti (Asrim dkk., 2022).

Uji kualitas roti dapat dilakukan melalui pengujian organoleptik untuk menilai tingkat kesukaan konsumen atau panelis. Panelis adalah individu yang

bertugas memberikan penilaian terhadap karakteristik mutu produk secara subjektif. Pengujian organoleptik, yang juga dikenal sebagai uji inderawi atau sensori, memanfaatkan pancaindra manusia sebagai alat untuk mengukur tingkat penerimaan terhadap produk. Indra yang digunakan meliputi penglihatan (mata), penciuman (hidung), pengecapan (lidah), dan peraba (tangan). Kepekaan indera tersebut memungkinkan panelis untuk mendeteksi, mengenali, membedakan, membandingkan, serta menilai preferensi terhadap produk (Gusnadi dkk., 2021).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-2346-2006, panelis dibedakan menjadi dua kategori: panelis standar yang berjumlah enam orang, dan panelis non-standar yang berjumlah tiga puluh orang. Panelis standar merupakan individu yang memiliki tingkat kepekaan tinggi terhadap atribut mutu produk, serta memiliki pengetahuan dan pengalaman dalam melakukan penilaian organoleptik, dan telah lolos seleksi sebagai panelis terlatih. Sebaliknya, panelis non-standar adalah individu yang belum mendapatkan pelatihan khusus dalam melakukan evaluasi organoleptik (BSN, 2006).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Rancangan Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif bersifat eksperimental dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima kali ulangan untuk setiap perlakuan. Faktor perlakuan adalah pengaruh konsentrasi 2%, 4%, 6% (w/v) natrium alginat dalam enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* terhadap kualitas roti. Selain itu, penelitian ini menggunakan kontrol negatif berupa khamir tanpa enkapsulasi dan kontrol positif berupa ragi komersial yang digunakan sebagai pembanding. Parameter yang diamati meliputi pelepasan sel ragi, produksi karbondioksia (CO<sub>2</sub>) dan kualitas roti (rasa, aroma, warna, tekstur, dan volume).

**Tabel 3.1 Desain perlakuan natrium alginat 2%, 4%, dan 6%**

<b>Perlakuan</b>	<b>Dosis</b>	<b>Kode perlakuan</b>
Natrium Alginat 1	2%	2%
Natrium Alginat 2	4%	4%
Natrium Alginat 3	6%	6%

#### **3.2 Variabel Penelitian**

##### **3.2.1 Variabel Bebas**

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi natrium alginat (2%, 4%, dan 6%) dan kontrol untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil penelitian.

##### **3.2.2 Variabel Terikat**

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi pelepasan sel ragi, produksi CO<sub>2</sub>, dan kualitas roti (rasa, aroma, warna, tekstur, dan volume).

### **3.3 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2025 hingga Mei 2026. Bertempat di Laoratorium Mikrobiologi Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.3.1 Variabel Kontrol**

Variabel kontrol meliputi konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  (0,1 M) (Sari *et al.*, 2025), lama perendaman untuk gelas (30 menit) (Mokhtari *et al.*, 2017), inkubasi  $30^\circ\text{C}$  dan komposisi bahan roti (Utami *et al.*, 2024), waktu dan suhu pemanggangan roti, suhu water bath, suhu dan waktu sentrifugasi, suhu dan kecepatan shaker incubator, jumlah panelis uji organoleptik, serta jenis tepung terigu (Bogasari).

### **3.4 Alat dan Bahan**

#### **3.4.1 Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cawan petri, jarum ose, beaker glass, labu ukur, erlenmeyer, tabung reaksi, batang spreader, spatula, corong, pipet volume, jarum sryenge, mikropipet, sentrifugasi, tabung Eppendorf 15 mL, rak tabung reaksi, oven, autoklaf, inkubator bergoyang (*shaker incubator*), inkubator, pipet tetes, vortex, neraca analitik, hot plate, magnetic stirrer, *Laminar Air Flow* (LAF), colony counter, jar fermentasi, selang karet, labu ukur 100mL, water bath ( $30^\circ\text{C}$ ), loyang cetakan roti, timbangan bahan, oven pemanggang roti, penggaris, serta alat tulis dan kamera.

#### **3.4.2 Bahan**

Bahan yang digunakan selama penelitian adalah isolat khamir *Saccharomyces cerevisiae*, yeast extract, malt extract, pepton, glukosa, agar, buffer peptone water, aquadest, kasa, kapas, plastic wrap, aluminium foil, kertas saring, fermipan, kalsium klorida  $\text{CaCl}_2$ , natrium alginat, larutan saline (NaCl)

0,9%, alcohol 70%, tepung terigu, garam, gula, air, dan larutan air asam pH 2,5 (Hcl pekat 37%)

### **3.5 Prosedur Penelitian**

Prosedur yang dilaksanakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

#### **3.5.1 Sterilisasi Alat**

Alat-alat yang digunakan terlebih dahulu dicuci bersih dan dikeringkan. Selanjutnya disterilisasi dengan dibungkus terlebih dahulu dengan kertas kemudian dimasukkan ke dalam plastik. Selanjutnya dimasukkan disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi (per square inch) selama 15 menit (Wulandari dkk., 2021).

#### **3.5.2 Pembuatan Media**

##### **3.5.2.1 Media *Yeast Malt Borth***

Media *Yeast Malt Borth* (YMB) disiapkan dengan menimbang bahan-bahan, yaitu diantaranya adalah 3 g/L ekstrak ragi, 3 g/L ekstrak malt, 5 g/L pepton, dan 10 g/L glukosa. Seluruh komponen dilarutkan dalam 1000 mL aquades di dalam labu Erlenmeyer. Larutan media kemudian dipanaskan pada suhu 150°C menggunakan hotplate dan dihomogenkan dengan bantuan magnetic stirrer. Setelah tercampur secara merata, labu Erlenmeyer ditutup menggunakan kasa dan kapas, lalu dibungkus dengan plastik wrap untuk mencegah kontaminasi. Proses sterilisasi dilakukan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Bansfield *et al.*, 2023).

##### **3.5.2.2 Pembuatan Media *Yeast Malt Extract Agar* (YMEA)**

Media *Yeas Malt Extract Agar* (YMEA) disiapkan dengan beberapa bahan, yaitu diantaranya adalah pepton sebanyak 5,0 g/L, ekstrak ragi 3,0 g/L, ekstrak malt 3,0 g/L, glukosa 10 g/L, dan agar 20,0 g/L, yang dilarutkan dalam 1000 mL

aquades. Seluruh bahan dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer dan dicampur secara merata menggunakan hotplate yang dilengkapi dengan magnetic stirrer untuk memastikan homogenisasi. Setelah tercampur sempurna, Labu Erlenmeyer ditutup menggunakan kapas serta dibungkus dengan plastik wrap. Media disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Lata *et al.*, 2023).

### **3.5.2.3 Media Yeast Peptone Glucose (YPG)**

Media *Yeast Peptone Glucose* disiapkan dengan komposisi *yeast extract* 3 g/L, pepton 5 g/L, dan glukosa 20 g/L, yang dilarutkan dalam 1000 mL akuades di dalam labu Erlenmeyer. Larutan media kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan diatas *hot plate* hingga mencapai suhu 121 °C. Setelah homogen, mulut labu Erlenmeyer ditutup dengan kapas untuk mencegah kontaminasi. Sterilisasi media dilakukan menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit (Corbu & Csutak, 2022).

### **3.5.3 Peremajaan Isolat Khamir**

Peremajaan isolat khamir dilakukan secara aseptis di dalam laminar air flow, mengacu pada metode yang dijelaskan oleh Utami *et al.* (2024). Sebanyak satu ose isolat khamir diinokulasikan ke dalam media *Yeast Malt Extract Agar* (YMEA) menggunakan teknik goresan (*streak plate*), kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu ruang ( $\pm 28^{\circ}\text{C}$ ). Peremajaan isolat pada media agar dianggap berhasil apabila isolat yang dipilih mampu tumbuh dengan baik di permukaan media agar. Setelah itu, stok kultur disimpan dalam lemari pendingin dan siap digunakan

### **3.5.4 Perbanyakkan Isolat Khamir**

Perbanyakkan isolat khamir diawali dengan inkubasi pada media YMEA selama 48 jam pada suhu 28°C. Setelah itu, dua ose isolat dipindahkan ke dalam

15 mL media YMB dalam tabung reaksi dan diinkubasi menggunakan shaker pada suhu 33°C dengan kecepatan 140 rpm selama 24 jam. Selanjutnya, sebanyak 1 mL kultur YMB diinokulasikan ke dalam 9 mL media YPG dalam tabung Eppendorf berkapasitas 15 mL, kemudian diinkubasi kembali dengan kondisi yang sama selama 48 jam (Utami *et al.*, 2024). Setelah inkubasi, kultur khamir disentrifugasi selama 15 menit pada 8000 rpm untuk memisahkan supernatan dari pelet. Pelet yang terpisah dapat digunakan untuk proses enkapsulasi (Afianti, 2023).

### 3.5.5 Perhitungan Sel Khamir Sebelum Enkapsulasi

Setelah sentrifugasi menghasilkan pellet khamir, dilakukan perhitungan sel khamir sebelum tahap enkapsulasi dengan metode *Total plate count* (TPC). Sebanyak 1g pelet khamir dilarutkan dalam 9 mL NaCl 0,9% dan dihomogenkan menggunakan vortex. Suspensi tersebut kemudian diencerkan secara bertingkat (*serial dilution*)  $10^{-1}$  hingga  $10^{-6}$  untuk menurunkan jumlah koloni yang tumbuh. Diambil sebanyak 100  $\mu$ L dari pengenceran  $10^{-5}$  diinokulasikan ke media *Yeast Peptone Glucose Agar* (YPGA) dengan metode plating. Inkubasi dilakukan pada suhu 30°C selama 48 jam (Insani dkk., 2018). Koloni yang terbentuk dihitung menggunakan metode *plate count* dan jumlahnya ditentukan berdasarkan rumus:

$$(CFU/g) = \frac{N}{V \times D}$$

Keterangan:

N: Jumlah koloni

V: Volume yang ditanam (mL)

D: Faktor pengenceran

### **3.5.6 Prosedur Enkapsulasi dengan Natrium Alginat**

#### **3.5.6.1 Pembuatan Larutan Kalsium Klorida (CaCl<sub>2</sub>)**

Larutan kalsium klorida 0,1 M disiapkan dengan menimbang 11,1 g (CaCl<sub>2</sub>), yang kemudian dilarutkan dalam Akuades steril hingga mencapai volume akhir 1 liter. Larutan tersebut dihomogenkan melalui proses pengadukan hingga seluruh komponen terlarut sempurna, lalu disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit sebelum digunakan (Sari *et al.*, 2025).

#### **3.5.6.2 Pembuatan Larutan Natrium Alginat dengan Suspensi Khamir**

Pembuatan larutan natrium alginat dilakukan dengan melarutkan serbuk natrium alginat ke dalam akuades steril dengan variasi konsentrasi 2%, 4%, dan 6% (w/v). Masing-masing konsentrasi setara dengan 20 g/L, 40 g/L, dan 60 g/L. Serbuk natrium alginat dan akuades steril diaduk menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 300–600 rpm hingga homogen. Setelah terbentuk larutan homogen, dilakukan proses degassing dengan mendinginkan larutan selama ±2 jam untuk menghilangkan gelembung udara yang terbentuk selama pengadukan (Essifi *et al.*, 2021).

Sementara untuk kultur *Saccharomyces cerevisiae* ditumbuhkan satu koloni dalam media *Yeast Peptone Glucose* (YPG) pada suhu 30 °C selama 48 jam untuk menghasilkan inoculum aktif. Sebanyak 20 mL kultur kemudian disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 15 menit. Setelah isi supernatan dibuang, pelet sel dicuci menggunakan larutan saline 0,9 % sebanyak 2 kali dan disuspensikan kembali dalam 20 mL air steril. Suspensi sel tersebut selanjutnya dicampurkan ke dalam larutan natrium alginat steril dengan rasio 1:10 (v/v), sambil diaduk perlahan hingga terbentuk campuran homogen yang mengandung sel khamir (Sukmawati *et al.*, 2025)

### 3.5.6.3 Enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan Metode Ekstrusi

Prosedur enkapsulasi menggunakan natrium alginat dilakukan dengan mengacu pada metode Valero-Cases *et al.*, (2025). Larutan natrium alginat steril yang mengandung suspensi *Saccharomyces cerevisiae* dimasukkan ke dalam syringe steril ukuran 0,80mm×25mm, kemudian diteteskan secara perlahan ke dalam larutan CaCl<sub>2</sub> 0,1 M dari jarak ukuran 5cm dengan perbandingan 1:9 (v/v). Butiran yang terbentuk direndam dalam larutan CaCl<sub>2</sub> selama 30 menit, lalu dicuci menggunakan akuades steril sebanyak 2 kali untuk menghilangkan ion Ca<sup>+</sup> dan disaring dengan kertas saring kasar. Bead atau kapsul yang dihasilkan disimpan pada suhu 4 °C hingga siap digunakan.

### 3.5.7 Pengujian Pelepasan Sel Khamir

Proses pelepasan sel khamir dari manik-manik alginat menurut jurnal penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020). Setelah bead selesai dibuat, masing-masing konsentrasi sebanyak 1 gram bead dimasukkan ke dalam 10 mL larutan garam (NaCl 0,9%). Bead di simpan pada kondisi dinamis (menggunakan orbital shaker dengan kecepatan 110 rpm). Pelepasan sel ragi diamati pada waktu inkubasi 12 jam dan 24 jam. Pada setiap waktu pengamatan, larutan diambil sebanyak 1 mL dan dilakukan pengenceran bertingkat ( $10^{-1}$  hingga  $10^{-6}$ ). Sebanyak 100  $\mu$ L dari pengenceran  $10^{-5}$  diinokulasikan ke media Yeast Peptone Glucose Agar (YPGA) menggunakan metode plating. Kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama sekitar 48 jam. Setelah inkubasi, koloni ragi yang tumbuh di permukaan media dihitung menggunakan *colony counter* (Bevilacqua *et al.*, 2020). Rumus menghitung koloni adalah sebagai berikut.

$$(CFU/g) = \frac{N}{V \times D}$$

Keterangan:

N: Jumlah koloni

V: Volume yang ditanam (mL)

D: Faktor pengenceran

### 3.5.8 Pembuatan Adonan Roti

Pembuatan adonan roti dilakukan dengan menggunakan pengembang adonan berupa sel khamir yang telah dienkapsulasi dalam bentuk bead. Formulasi bahan disusun berdasarkan Utami *et al.* (2024), yang terdiri atas 200 gr tepung terigu, 3 gr garam, 15 gr gula, 16 gr margarin, 1,2 % (2,4 gr) bead enkapsulasi dan 70 mL air. Seluruh bahan dicampurkan dan diuleni selama  $\pm 15$  menit hingga membentuk adonan yang homogen dan elastis. Adonan kemudian dimasukkan ke dalam tabung ukur atau cetakan untuk proses fermentasi pada suhu sekitar 30°C selama 1440 menit untuk perlakuan bead enkapsulasi dan 30 menit untuk fermipan. Setelah proses fermentasi selesai, adonan dipanggang pada suhu 180°C selama 30 menit hingga diperoleh roti yang matang dan mengembang sempurna.

### 3.5.9 Pengujian Produksi CO<sub>2</sub>

Pengujian produksi gas CO<sub>2</sub> selama fermentasi adonan dilakukan menggunakan metode Gasography menurut jurnal penelitian (Rada & Kasaie., 2017). Adonan sampel dimasukkan ke dalam jar fermentasi sebanyak 5 gram dan ditutup rapat dengan penutup karet berlubang yang dihubungkan ke gelas ukur 50 mL terbalik melalui selang karet. Gelas ukur diletakkan terbalik dalam beaker yang berisi air asam (pH 2,5). Seluruh rangkaian ditempatkan di water bath pada

suhu 40°C. Fermentasi dijalankan selama 30 menit, dan volume CO<sub>2</sub> yang terkumpul didalam gelas ukur terbalik dibaca setiap menit.

### 3.5.10 Pengujian Kualitas Roti

#### 3.5.10.1 Pengukuran Volume Adonan

Volume adonan diukur secara manual menggunakan penggaris untuk menentukan tinggi adonan (Saepudin dkk., 2017) Perubahan ini diukur dengan menentukan perbedaan antara volume akhir setelah proses fermentasi dan volume awal sebelum fermentasi dimulai. Pengukuran terhadap sampel roti dilakukan secara berkala setiap 30 menit selama total durasi 1440 menit, guna memantau perubahan volume secara sistematis sepanjang proses pengamatan.

Perhitungan presentase volume roti berdasarkan Utami *et al.*, (2024) adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Daya kembang} = \frac{\text{Volume akhir adonan} - \text{Volume adonan awal}}{\text{Volume adonan awal}} \times 100\%$$

#### 3.5.10.2 Analisis Sensori dan Uji Konsumen Hedonik

Analisis sensoris terhadap sampel roti dilakukan untuk mengevaluasi terkait rasa, aroma, warna, dan tekstur menggunakan metode uji organoleptik. Pengujian ini melibatkan 20 panelis (Zhang *et al.*, 2023). Penilaian terhadap tingkat penerimaan keseluruhan dilakukan menggunakan skala hedonik terstruktur lima poin, dengan kategori sebagai berikut: 1 = sangat tidak suka, 2 = agak tidak suka, 3 = netral, 4 = agak suka, dan 5 = sangat suka. Sampel roti tawar seberat ± 5gram disajikan pada suhu ruang di atas piring putih, masing-masing diberi kode numerik untuk menjaga objektivitas penilaian. Untuk menghindari kontaminasi rasa antar

sampel, konsumen diminta berkumur dengan air sebelum mencicipi sampel berikutnya (Umama *et al.*, 2024).

### **3.6 Analisis Data**

Data uji pelepasan sel khamir (CFU/g) disajikan dalam bentuk rata-rata dan presentase. Analisis data kuantitatif dilakukan menggunakan *Two-Way* ANOVA pada taraf signifikansi 5% ( $p < 0,05$ ) setelah dilakukan uji normalitas dan homogenitas. Apabila terdapat perbedaan nyata antarperlakuan, maka dilakukan uji lanjut *Honestly Significant Difference* (HSD) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan secara spesifik. Data volume pengembangan adonan roti dan produksi gas CO<sub>2</sub> (mL) dianalisis secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel dalam bentuk grafik. Sedangkan data organoleptik dianalisis menggunakan uji *Kruskal–Wallis*, jika terdapat perbedaan signifikan ( $p < 0,05$ ) dilanjutkan dengan uji *Mann-Whitney*.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Pelepasan Sel dari Bead Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae*

Hasil pelepasan sel khamir dari bead enkapsulasi menggunakan natrium alginat yang disajikan (Tabel 4.1) menunjukkan bahwa setelah proses enkapsulasi dilakukan, terjadi perubahan jumlah koloni yang dilepaskan pada masing-masing perlakuan waktu dan konsentrasi bead. Pelepasan sel selama 12 jam konsentrasi bead 2% menghasilkan rata-rata koloni sebesar  $4,24 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase pelepasan sel sebesar 52,9% dan selama 24 jam menghasilkan  $2,56 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase 31,92%. Bead enkapsulasi dengan konsentrasi 4% selama 12 jam menghasilkan rata-rata koloni sebesar  $3,34 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase pelepasan sel sebesar 45,01% dan selama 24 jam menghasilkan  $2,58 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase 34,8%. Sedangkan konsentrasi 6% selama 12 jam menghasilkan rata-rata koloni  $2,46 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase pelepasan sel sebesar 33,51% dan selama 24 jam menghasilkan rata-rata koloni  $3,92 \times 10^7$  CFU/g dengan presentase 53,4%.

**Tabel 4.1 Data Pelepasan Sel dari Bead Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada Masing-Masing Perlakuan**

Bead Enkapsulasi	Koloni sebelum enkapsulasi (CFU/g)	Koloni pelepasan sel 12 jam (CFU/g)	Presentase pelepasan sel (%)	Koloni pelepasan sel 24 jam (CFU/g)	Presentase pelepasan sel (%)
2%	$8,02 \times 10^7$ CFU/g	$4,24 \times 10^7$ CFU/g	52,9 <sup>c</sup>	$2,56 \times 10^7$ CFU/g	31,92 <sup>a</sup>
4%	$7,42 \times 10^7$ CFU/g	$3,34 \times 10^7$ CFU/g	45,01 <sup>b</sup>	$2,58 \times 10^7$ CFU/g	34,8 <sup>a</sup>
6%	$7,34 \times 10^7$ CFU/g	$2,46 \times 10^7$ CFU/g	33,51 <sup>a</sup>	$3,92 \times 10^7$ CFU/g	53,4 <sup>bc</sup>

**Keterangan:** Superskrip huruf yang berbeda pada hasil menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada uji *Post Hoc Tukey*

Hasil analisis statistik menggunakan *Two-Way* ANOVA pada (lampiran 4a) menunjukkan bahwa faktor waktu pelepasan sel memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah koloni dengan nilai signifikan sebesar 0,014 ( $p < 0,05$ ). Faktor variasi konsentrasi pada bead enkapsulasi juga berpengaruh nyata dengan nilai signifikan 0,026 ( $p < 0,05$ ). Selain itu, interaksi antara waktu dan konsentrasi menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap jumlah koloni dengan nilai signifikan 0,000 ( $p < 0,05$ ). Hasil tersebut mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut *Tukey* HSD untuk mengindikasikan kelompok perlakuan yang berbeda secara signifikan.

Hasil uji lanjut *Tukey* HSD pada (lampiran 4b) menunjukkan bahwa beberapa perlakuan memiliki perbedaan nyata satu sama lain. Pada waktu pelepasan sel 12 jam, perlakuan konsentrasi 2% berbeda nyata dengan konsentrasi 4% dan konsentrasi 6% selama 12 jam. Perlakuan konsentrasi 4% selama 12 jam juga berbeda nyata dengan konsentrasi 2% dan konsentrasi 6% selama 12 jam, demikian pula konsentrasi 6% selama 12 jam yang berbeda nyata dengan konsentrasi 2% dan konsentrasi 4% selama 12 jam. Sementara itu, pada waktu pelepasan sel 24 jam, perlakuan konsentrasi 2% tidak menunjukkan perbedaan nyata dengan konsentrasi 4% selama 24 jam. Namun, perlakuan konsentrasi 6% selama 24 jam berbeda nyata dengan konsentrasi 2% dan konsentrasi 4% selama 24 jam.

Pengamatan uji pelepasan sel khamir yang diinkubasi selama 12 jam dan 24 jam dalam orbital shaker menunjukkan adanya variasi koloni yang terlepas. Hal tersebut bertujuan untuk melihat pola keluarnya sel khamir dari bead enkapsulasi dengan seiringnya waktu. Pelepasan sel selama inkubasi meningkat

karena  $\text{Na}^+$  dari larutan NaCl 0,9% melemahkan ikatan silang  $\text{Ca}^{2+}$  pada matriks alginat, sehingga pori-pori bead membesar. Struktur yang lebih longgar memudahkan difusi sel khamir keluar, sehingga jumlah sel yang dilepaskan bertambah seiring lamanya inkubasi (Colin *et al.*, 2024). Selain itu, menurut penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) mengatakan bahwa uji pelepasan sel bead enkapsulasi yang diinkubasi pada orbital shaker menunjukkan pengadukan yang mempercepat pelepasan sel khamir dari bead. Hal tersebut dikarenakan adanya gaya geser dan pergerakan cairan yang merusak permukaan bead serta mempercepat terbentuknya retakan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan bead enkapsulasi dengan konsentrasi 2% pelepasan sel selama 12 jam yaitu sebesar  $4,24 \times 10^7$  dengan presentase 52,9%. Nilai tersebut berdasarkan hasil uji lanjut *Tukey HSD* berbeda nyata dengan hampir seluruh perlakuan lainnya, karena memiliki nilai mean tertinggi. Akan tetapi, pada pelepasan sel 24 jam jumlah koloni menurun menjadi  $2,56 \times 10^7$  dengan presentase 32,92%. Tingginya pelepasan sel pada konsentrasi 2% menunjukkan bahwa struktur matriks bead yang terbentuk lebih longgar sehingga sel lebih mudah keluar dari bead pada awal fermentasi. Hal tersebut dapat didukung oleh jurnal penelitian Bevilacqua *et al.*, (2020) enkapsulasi dengan bahan penyalut natrium alginat pada konsentrasi 2% meningkatkan pelepasan sel karena matriks gel yang terbentuk tidak terlalu rapat, sehingga sel lebih mudah berdifusi keluar dari bead. Sedangkan pelepasan sel pada 24 jam menurun karena sebagian besar sel sudah keluar lebih awal dan sebagian lainnya masih tertahan didalam bead.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan 4% jumlah pelepasan sel pada 12 jam sebesar  $3,34 \times 10^7$  dengan presentase 45,01% dan pada 24 jam sebesar  $2,58 \times 10^7$  dengan presentase 34,8%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi bead mulai membentuk struktur gel yang lebih padat sehingga pelepasan sel khamir menjadi lebih lambat dibandingkan perlakuan 2%. Jurnal penelitian Valero-Cases *et al.*, (2025) menyatakan bahwa enkapsulasi dengan bahan penyalut natrium alginat dengan konsentrasi 4% memiliki struktur matriks yang lebih rapat, yang menyebabkan aktivitas pelepasan sel berlangsung tidak secepat perlakuan 2%.

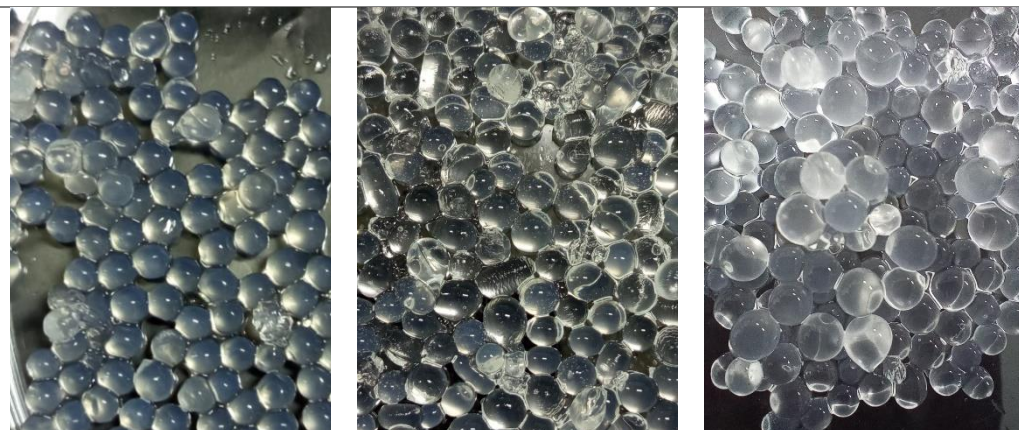
Sementara itu, perlakuan bead enkapsulasi konsentrasi 6% menunjukkan jumlah pelepasan sel terendah pada 12 jam yaitu sebesar  $2,46 \times 10^7$  dengan presentase 33,51%, namun meningkat pada 24 jam menjadi  $3,92 \times 10^7$  dengan presentase 53,4%. Rendahnya pelepasan sel pada 12 jam menunjukkan bahwa konsentrasi bead yang tinggi menghasilkan struktur matriks yang sangat rapat sehingga sel probiotik tertahan lebih lama di dalam bead. Kondisi tersebut menyebabkan pelepasan sel berlangsung secara bertahap atau *controlled release*. Jurnal Valero-Cases *et al.*, (2025) bahwa bead dengan konsentrasi alginat 6% memiliki kemampuan perlindungan tertinggi terhadap sel karena membentuk struktur matriks yang lebih padat, lebih kuat, dan memiliki retensi sel lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 2% maupun 4%.

Penambahan natrium alginat pada proses enkapsulasi mampu membentuk matriks gel yang dapat menahan sel khamir di dalam bead enkapsulasi. Peningkatan konsentrasi natrium alginat menyebabkan struktur bead menjadi lebih padat dan rapat sehingga pori-pori matriks menjadi lebih kecil. Kondisi

tersebut menghambat pelepasan sel dari bead dan menyebabkan aktivitas metabolisme mikroba berlangsung lebih lambat. Penelitian Valero-Cases *et al.* (2025) melaporkan bahwa konsentrasi alginat yang lebih tinggi mampu meningkatkan retensi dan perlindungan sel karena pelepasan sel berlangsung secara bertahap (*controlled release*). Selain itu, Yuan *et al.* (2023) menjelaskan bahwa struktur alginat yang lebih padat memberikan proses fermentasi berlangsung lebih lambat.

Secara morfologi warna bead enkapsulasi kamir *Saccharomyces cerevisiae* dengan berbagai konsentrasi natrium alginat menunjukkan permukaan berwarna putih cerah yang seragam (Gambar 4.1). Menurut Bennacef *et al.*, (2021) mengatakan bahwa Alginat banyak dimanfaatkan dalam teknologi enkapsulasi karena sifat biokompatibilitasnya serta kemampuannya membentuk hidrogel melalui ikatan silang ionik dengan kation divalen, seperti kalsium. Dalam industri pangan, alginat yang digunakan umumnya berasal dari jenis *food grade*, yaitu alginat yang telah melalui proses pemurnian termasuk pelunturan (*bleaching*). Tahapan ini bertujuan menghilangkan pigmen atau zat warna alami dari bahan baku sehingga menghasilkan alginat dengan tampilan lebih terang atau putih.

---

**Gambar Pengamatan**

a. Konsentrasi 2%

b. Konsentrasi 4%

c. Konsentrasi 6%

---

**Gambar 4.1 Hasil bead enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*** a) Enkapsulasi khamir dengan natrium alginat konsentrasi 2%. b) Enkapsulasi khamir dengan natrium alginat konsentrasi 4%. c) Enkapsulasi khamir dengan natrium alginat konsentrasi 6%.

Bead enkapsulasi yang dihasilkan berbentuk bulat dengan sedikit lonjong. Perlakuan natrium alginat 2% menghasilkan bead yang lebih seragam dibandingkan konsentrasi lainnya, karena pada konsentrasi tersebut tekstur bead lebih lunak. Jurnal penelitian Sicramaz *et al.*, (2025) mengatakan bentuk membulat pada bead terjadi karena proses gelasi ionotropik antara natrium alginat dan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dari larutan  $\text{CaCl}_2$  yang membentuk ikatan silang (*cross-linking*) pada gugus guluronat alginat sehingga terbentuk struktur hidrogel tiga dimensi yang kokoh. Mekanisme ini dikenal sebagai model “*egg-box*”, yaitu ion kalsium mengikat rantai alginat dan menghasilkan bead dengan bentuk bulat serta stabil.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa variasi konsentrasi natrium alginat mempengaruhi bentuk dan keseragaman bead enkapsulasi yang dihasilkan. Konsentrasi natrium alginat 2% bead yang terbentuk cenderung lebih bulat dan seragam dibandingkan dengan konsentrasi 4% dan 6%. Bentuk bead

yang bulat merupakan morfologi yang diharapkan dalam proses enkapsulasi karena menunjukkan proses gelasi berlangsung optimal serta menghasilkan stabilitas bead yang lebih baik. Menurut Bennafec *et al.*, (2021) dan Fernando *et al.*, (2024) proses pembentukan bead aginat melalui ekstrusi menghasilkan bead yang idealnya terbentuk bulat sempurna. Bentuk bead dipengaruhi oleh faktor, diantaranya yakni konsentrasi natrium alginat dan jarak penetesannya selama proses ekstrusi. Peningkatan konsentrasi natrium alginat akan meningkatkan viskositas dinding alginat dan memperkuat struktur gel akibat meningkatkan interaksi silang (*cross-linking*) antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan rantai alginat.

#### **4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Produksi Gas Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada Pembuatan Roti**

Daya kembang roti berkaitan erat dengan kemampuan adonan dalam membentuk dan menahan gas yang dihasilkan selama fermentasi. Besar kecilnya pengembangan volume roti yang dihasilkan dapat ditentukan oleh fermentasi yang dilakukan sebelum adonan dipanggang (Purba dkk., 2025). Kualitas ragi roti sangat ditentukan oleh kemampuan pengembangannya, sebab jumlah gas yang dihasilkan menjadi indikator utama untuk menilai aktivitas fermentasi. Keberhasilan proses pembuatan roti sendiri bergantung pada pembentukan gas, terutama pada tahap akhir fermentasi (Rad & Kasaie, 2017).

**Tabel 4.2 Produksi Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada Pembuatan Roti.**

Perlakuan	Total CO <sub>2</sub> (v/mL)	Interval pengamatan	Volume adonan roti (cm <sup>3</sup> )
2%	0 v/mL	30 menit	69,94 cm <sup>3</sup>
4%	0 v/mL	30 menit	69,94 cm <sup>3</sup>
6%	0 v/mL	30 menit	69,94 cm <sup>3</sup>
K (-)	0 v/mL	30 menit	69,94 cm <sup>3</sup>
K (+)	0 v/mL	30 menit	127,17 cm <sup>3</sup>

**Keterangan:** 2% (enkapsulasi natrium alginat 2%); 4% (enkapsulasi natrium alginat 4%); 6% (enkapsulasi natrium alginat 6%); K (-) khamir tanpa enkapsulasi; K (+) Ragi komersial

Hasil pengamatan produksi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) oleh khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang dienkapsulasi dengan berbagai konsentrasi natrium alginat pada pembuatan roti, seluruh perlakuan menunjukkan nilai produksi gas sebesar 0 v/mL selama pengamatan pada (Tabel 4.2 dan Lampiran 6). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat gas CO<sub>2</sub> yang dapat terdeteksi oleh gelas ukur terbalik sebagai alat pengukuran. Meskipun demikian, pada perlakuan kontrol positif K (+) yang menggunakan ragi komersial terjadi peningkatan volume adonan selama fermentasi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa aktivitas fermentasi tetap berlangsung dan menghasilkan gas CO<sub>2</sub>, namun jumlah gas yang terbentuk belum cukup untuk terdeteksi oleh metode pengukuran yang digunakan. Selain itu, waktu pengamatan yang relatif singkat, yaitu hanya 30 menit, menjadi penyebab utama tidak terdeteksinya gas CO<sub>2</sub> pada perlakuan. Waktu tersebut kemungkinan belum cukup untuk menghasilkan akumulasi gas yang mampu menyebabkan perpindahan volume air pada gelas ukur terbalik,

terutama pada perlakuan yang menggunakan khamir enkapsulasi yang memerlukan waktu lebih lama untuk memulai aktivitas fermentasi secara optimal.

Menurut jurnal penelitian Istudor *et al.*, (2020) gas karbondioksida pada adonan roti yang dihasilkan selama fermentasi sulit terdeteksi menggunakan alat yang sederhana. Selain itu, faktor yang mempengaruhi adalah karbondioksida yang dihasilkan lebih banyak terperangkap didalam jaringan gluten. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terbentuk di dalam adonan roti sulit untuk diukur secara langsung karena sifatnya yang terperangkap dalam matriks adonan. Hal ini terjadi karena struktur gluten yang bersifat viskoelastis membentuk jaringan seperti sarang, sehingga gelembung gas hasil fermentasi tidak mudah keluar. Dengan demikian, meskipun gas dihasilkan selama fermentasi, keberadaannya lebih banyak tersimpan dalam adonan daripada terdeteksi secara bebas di luar sistem.

Gluten dalam proses pembuatan roti berperan penting sebagai pengembang adonan. Sifat viskoelastisnya membentuk jaringan yang mampu menahan gelembung gas hasil fermentasi ragi, sehingga karbondioksida (CO<sub>2</sub>) tetap terperangkap di dalam adonan (Husain dkk., 2025). Jaringan gluten yang kuat membantu mempertahankan gelembung gas selama fermentasi, sedangkan jaringan gluten yang lemah menyebabkan gas mudah hilang sehingga volume pengembangan pada adonan roti menurun. (Raad *et al.*, 2025).

Jaringan gluten yang kuat terbentuk melalui pembentukan ikatan disulfida (SS) antar protein gluten, dimana proses tersebut dibantu oleh keberadaan oksigen selama pengadonan. Oksigen berperan dalam mengoksidasi gugus sulfhidril (SH) sehingga membentuk lebih banyak ikatan disulfida yang mampu memperkuat struktur gluten. Gluten yang stabil akan membentuk matriks viskoelastis yang

dapat mempertahankan gelembung gas CO<sub>2</sub> secara optimal di dalam adonan. Sebaliknya, apabila pembentukan ikatan disulfida kurang optimal, maka struktur gluten menjadi lebih lemah sehingga gas hasil fermentasi lebih mudah terlepas atau terdistribusi secara tidak stabil di dalam adonan. Kondisi tersebut menyebabkan gas CO<sub>2</sub> yang keluar menuju sistem pengukuran menjadi sedikit dan tekanan gas yang terbentuk tidak cukup besar untuk mendorong perpindahan air pada gelas ukur (Raad *et al.*, 2025).

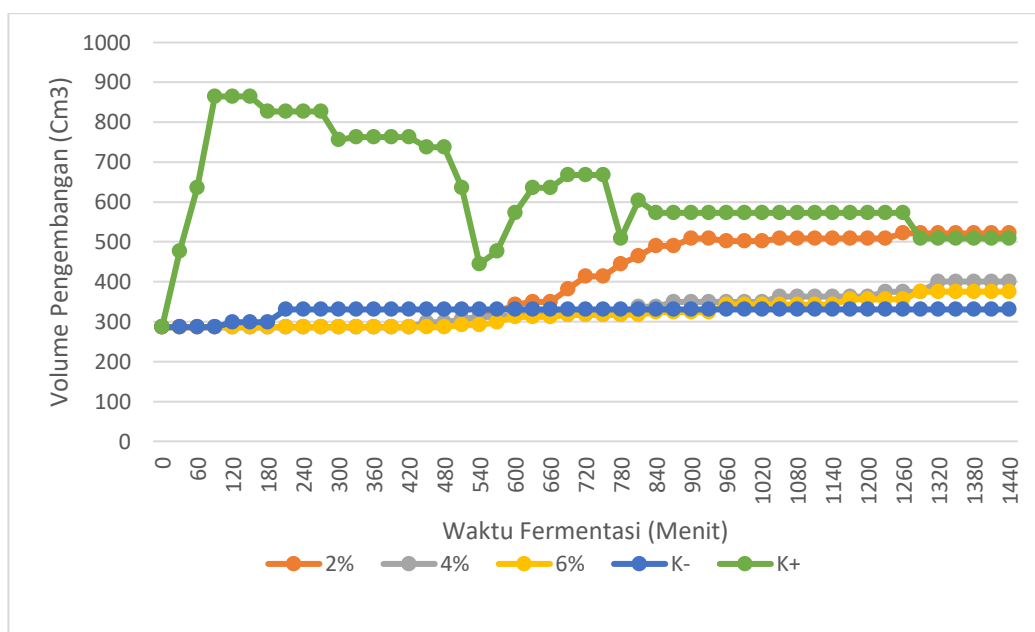
Selain itu, faktor lainnya yang mempengaruhi tidak turunnya air didalam gelas ukur adalah sebagian besar gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) hasil fermentasi larut terlebih dahulu dalam fase cair adonan sebelum merubah menjadi gas bebas. Karbondioksida dapat ditemukan dalam bentuk gas yang terperangkap didalam jaringan gluten maupun fase cair adonan sehingga sulit ditentukan secara langsung. Semakin tinggi kandungan air dalam adonan, maka semakin besar kemungkinan CO<sub>2</sub> larut dalam fase cair adonan sebelum membentuk gelembung gas (Istudor *et al.*, 2022).

### **4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Kualitas Roti pada Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae*.**

#### **4.3.1 Volume Pengembangan Adonan Roti**

Hasil pengamatan yang telah dilakukan terhadap volume pengembangan adonan selama 1440 menit (24 jam) disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 4.2). Pengukuran dilakukan setiap 30 menit, dengan volume awal yang sama pada setiap perlakuan, yakni 286,13 cm<sup>3</sup>. Data menunjukkan bahwa perlakuan enkapsulasi khamir menggunakan natrium alginat 2% menghasilkan volume akhir sebesar 502,32 cm<sup>3</sup> dengan persentase pengembangan 85%. Perlakuan 4% menghasilkan volume akhir 400,58 cm<sup>3</sup> dengan presentase pengembangan 40%,

sedangkan konsentrasi 6% menghasilkan volume akhir 375,15 cm<sup>3</sup> dengan presentase pengembangan 31%. Perlakuan K+(ragi komersial) menghasilkan volume akhir sebesar 508,68 cm<sup>3</sup> dengan presentase daya kembang 77%. Sedangkan perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi) sedikit mengalami peningkatan volume pada 330,63cm<sup>3</sup> dengan presentase 15% pengembangan.



**Gambar 4.3.1 Grafik pengembangan volume adonan roti selama 1440 menit**

Grafik pengembangan volume roti selama 1440 menit (Gambar 4.3.1) terlihat pada perlakuan K+ (ragi komersial) menunjukkan pengembangan yang cepat, yakni pada menit ke 30. Sedangkan pada perlakuan 2% dan 4% mengembang pada menit ke 450. Perlakuan 6% terlihat mengembang pada menit ke 510. Hasil tersebut menunjukkan bahwa adonan mengalami pengembangan akibat aktivitas khamir dalam memfermentasi gula menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan etanol. Hal tersebut dapat didukung oleh jurnal Ridhani dkk., (2021) yang mengatakan bahwa proses pengembangan adonan roti terjadi ketika ragi

memanfaatkan gula sebagai sumber energi. Melalui fermentasi, ragi mengubah gula dan karbohidrat dalam adonan menjadi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Gas ini terperangkap di dalam adonan sehingga membentuk pori-pori, membuat roti mengembang, serta menghasilkan aroma khas yang harum saat dipanggang.

Aktivitas khamir selama fermentasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan sel beradaptasi terhadap kondisi adonan (Raad *et al.*, 2025). Fase adaptasi (lag) terjadi ketika khamir mulai menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan adonan sebelum memasuki fermentasi aktif. Pada fase ini sel khamir belum menghasilkan CO<sub>2</sub> secara maksimal karena masih melakukan penyesuaian metabolisme. Selanjutnya, khamir pada adonan roti mengalami fase logaritmik (log) yang ditandai dengan pertumbuhan sel sangat cepat serta peningkatan produksi metabolit, terutama gas CO<sub>2</sub>. Gas ini terperangkap dalam jaringan gluten sehingga adonan mulai mengembang. Setelah itu, fermentasi memasuki fase stasioner, di mana pertumbuhan khamir melambat akibat keterbatasan nutrisi dan akumulasi produk metabolit, sehingga produksi CO<sub>2</sub> juga menurun. Jika kondisi terus memburuk, khamir masuk ke fase kematian, ditandai dengan banyaknya sel yang mati dan aktivitas fermentasi menurun (Struyf *et al.*, 2017).

Selain itu, khamir dalam proses fermentasi melalui aktivitas beberapa enzimatik, yaitu diantaranya ada protease, lipase invertase, maltase, dan zymase. Protease memecah protein tepung menjadi senyawa nitrogen untuk pertumbuhan sel. Enzim lipase menguraikan lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Invertase menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa. Maltase mengkonversi maltosa menjadi glukosa. Sementara zymase mengubah glukosa menjadi alkohol

dan karbondioksida yang berperan langsung dalam proses fermentasi (Rayani dkk., 2024).

Perlakuan 2% menghasilkan persentase pengembangan volume adonan yang paling tinggi dibandingkan perlakuan bead enkapsulasi lainnya. Peningkatan tersebut mencapai dua kali lipat dari volume awal, sehingga menunjukkan keberhasilan proses fermentasi secara optimal. Menurut penelitian Noer dkk., (2021) bahwa pengembangan roti yang optimal ditandai dengan adanya peningkatan volume hingga dua kali lipat dari volume awal. Selain itu, keberhasilan pengembangan volume adonan juga dipengaruhi oleh penggunaan bahan penyalut seperti alginat. Menurut Tabara *et al.* (2016), alginat berperan dalam memperkuat jaringan adonan serta meningkatkan elastisitasnya, sehingga mampu menahan tekanan gas hasil fermentasi dengan lebih efektif.

Pengembangan volume adonan pada perlakuan enkapsulasi menunjukkan pola yang berbeda antar konsentrasi natrium alginat, serta berbeda jauh dengan kecepatan fermentasi K<sup>+</sup> (ragi komersial) yang mengembang pada menit ke 30. Perlakuan dengan konsentrasi natrium alginat yang lebih tinggi cenderung menghasilkan pengembangan volume adonan yang lebih lambat dibandingkan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Hal tersebut menurut Bennafec *et al.*, (2021) konsentrasi natrium alginat yang terlalu tinggi, viskositas larutan meningkat sehingga bead yang terbentuk menjadi lebih padat. Kondisi tersebut menyebabkan aktivitas fermentasi yang kurang optimal. Oleh karena itu, konsentrasi natrium alginat perlu optimasi untuk memperoleh keseimbangan antara kestabilan bead dan kemampuan pelepasan sel khamir selama fermentasi.

Pengembangan volume adonan roti pada perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi), hanya mengalami peningkatan pada menit ke 210 kisaran 330.64 cm<sup>3</sup> dan selanjutnya tidak mengalami peningkatan volume hingga akhir pengamatan fermentasi dengan presentase 15%. Menurut jurnal penelitian Gulli *et al.*, (2020) bahwa kondisi tersebut menunjukkan bahwa khamir masih memiliki kemampuan melakukan fermentasi pada fase awal. Peningkatan volume pada awal fermentasi terjadi karena khamir masih memanfaatkan substrat yang tersedia dengan cepat untuk menghasilkan energi dan CO<sub>2</sub>. Akan tetapi, karena sel khamir berada dalam bentuk bebas (tidak dienkapsulasi), sel secara langsung terpapar terhadap perubahan lingkungan fermentasi seperti penurunan ketersediaan nutrisi dan peningkatan tekanan osmotik. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan viabilitas dan aktivitas metabolisme khamir sehingga produksi CO<sub>2</sub> berkurang dan volume pengembangan tidak mengalami peningkatan lebih lanjut

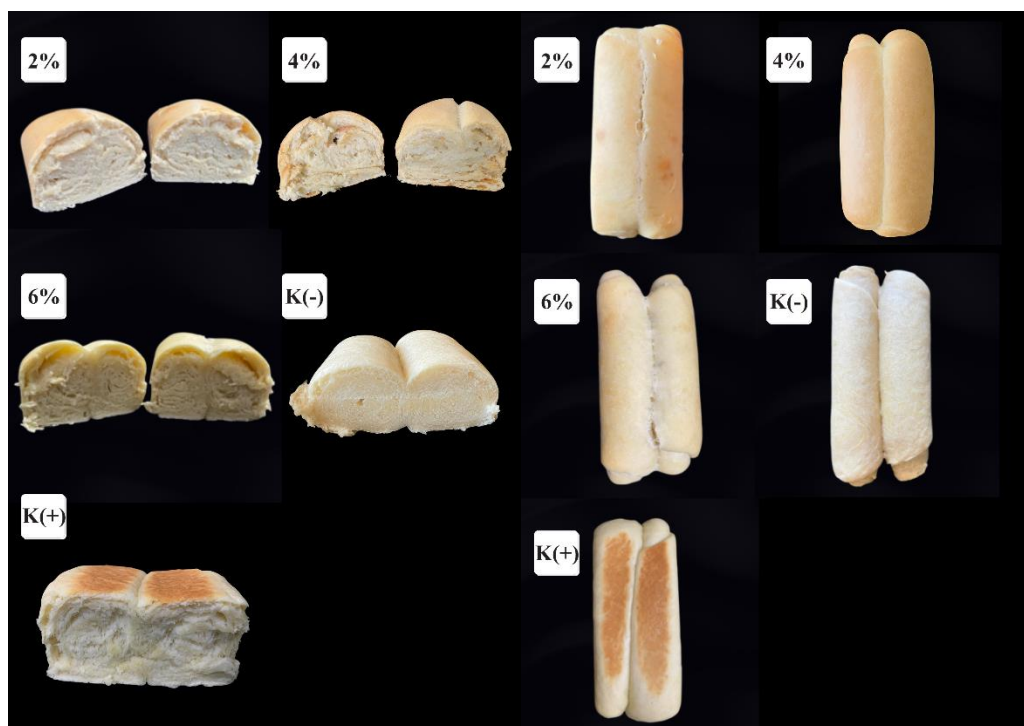
Sebaliknya, pada perlakuan K + (ragi komersial) awalnya menunjukkan pengembangan volume yang sangat cepat hingga mencapai volume maksimum sekitar 864,75 cm<sup>3</sup> pada menit ke-90. Namun setelah itu volume adonan mengalami penurunan dan kemudian meningkat kembali sebelum akhirnya relatif stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas fermentasi ragi tidak berlangsung secara terus-menerus dengan pola yang sama selama proses fermentasi. Menurut jurnal penelitian Bartolomeo *et al.*, (2020) bahwa pada fase awal fermentasi, ragi memanfaatkan gula sederhana yang tersedia dalam adonan sebagai sumber energi utama. Pemanfaatan substrat tersebut menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang terperangkap dalam jaringan gluten sehingga volume adonan meningkat

dengan cepat. Namun, setelah beberapa waktu terjadi penurunan volume pengembangan.

Penurunan volume pada adonan tersebut terjadi karena nutrisi glukosa telah habis. Ketika ketersediaan glukosa mulai menurun, *Saccharomyces cerevisiae* mengalami transisi metabolisme yang disebut *diauxic shift*, yaitu perubahan dari metabolisme fermentatif menuju metabolisme respiratif. Setelah glukosa mulai habis, sel ragi tidak langsung berhenti beraktivitas, tetapi melakukan penyesuaian, untuk memanfaatkan etanol dan sumber karbon lain yang terbentuk selama fermentasi. Selama proses adaptasi tersebut, produksi gas dapat menurun sehingga volume pengembangan adonan juga menurun. Setelah adaptasi selesai, aktivitas metabolisme kembali meningkat sehingga produksi CO<sub>2</sub> meningkat kembali dan menyebabkan volume pengembangan adonan kembali naik Bartolomeo *et al.*, (2020).

#### **4.3.2 Uji Organoleptik**

Setelah proses fermentasi selesai, adonan roti dipanggang selama 30 menit pada suhu 180°C hingga menjadi roti siap konsumsi, sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 4.3.2). Pengujian organoleptik dilakukan dengan metode hedonic yang melibatkan 20 panelis. Pengujian ini mencakup warna, aroma, rasa, dan tekstur pada roti. Menurut jurnal penelitian Meta *et al.*, (2026) uji organoleptik dengan metode hedonik merupakan suatu metode yang mempelajari bagaimana panelis mengetahui kelayakan dan tingkat kesukaan terhadap suatu produk.



**Gambar 4.3.2 Hasil Roti yang telah dipanggang, 2%** (Enkapsulasi natrium alginat konsentrasi 2%); 4% (Enkapsulasi natrium alginat konsentrasi 4%); 6% (Enkapsulasi natrium alginat konsentrasi 6%); K- (Khamir tanpa enkapsulasi); K+ (Ragi komersial)

Hasil uji organoleptik yang telah dianalisis menggunakan uji *Kruskal-Wallis* (Lampiran 6e), menunjukkan nilai  $P < 0,05$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan antar perlakuan terhadap masing-masing parameter, yaitu warna, aroma, rasa, dan tekstur. Untuk mengetahui perbedaan spesifik antar perlakuan pada setiap parameter uji organoleptik, dilakukan analisis lanjut menggunakan uji *Mann-Whitney*. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.2 dengan notasi huruf berbeda. Perlakuan yang memiliki huruf berbeda menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik.

**Tabel 4. 3 Hasil Uji lanjut *Mann-Whitney* pada setiap perlakuan bahan penyalut terhadap organoleptik roti**

Perlakuan	Parameter Organoleptik			
	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur
2%	4,30 ± 0,801 <sup>a</sup>	4,25 ± 0,786 <sup>a</sup>	4,20 ± 1,005 <sup>a</sup>	3,85 ± 1,137 <sup>a</sup>
4%	3,80 ± 0,834 <sup>a</sup>	3,80 ± 0,834 <sup>a</sup>	4,20 ± 1,105 <sup>a</sup>	3,85 ± 0,988 <sup>a</sup>
6%	3,90 ± 0,968 <sup>a</sup>	3,40 ± 0,883 <sup>b</sup>	3,50 ± 1,100 <sup>b</sup>	3,55 ± 1,234 <sup>a</sup>
K-	2,65 ± 0,988 <sup>b</sup>	3,05 ± 0,510 <sup>c</sup>	2,80 ± 1,005 <sup>c</sup>	1,85 ± 0,933 <sup>b</sup>
K+	4,25 ± 0,967 <sup>a</sup>	3,75 ± 0,851 <sup>ab</sup>	4,00 ± 0,858 <sup>ab</sup>	4,00 ± 0,973 <sup>a</sup>

**Keterangan:** Superskrip yang berbeda pada hasil menunjukkan adanya perbedaan yang nyata pada uji *Mann-Whitney*

Hasil uji *Mann-Whitney* pada (Tabel 4.3) menunjukkan bahwa nilai warna roti berkisaran 2,65 hingga 4,30. Perlakuan 2% memperoleh nilai tertinggi dan paling disukai panelis, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 4%, A3 6%, maupun K+ (ragi komersial). Hal ini mengindikasikan bahwa keempat perlakuan tersebut dinilai memiliki penampilan warna roti yang sama baiknya. Sebaliknya, perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi) memperoleh skor terendah dan berbeda signifikan dari seluruh perlakuan lainnya, menandakan bahwa roti tanpa penambahan ragi kurang disukai panelis dari segi warna.

Penentuan mutu pangan umumnya sangat dipengaruhi oleh warna khas yang dimilikinya. Produk dengan warna yang sesuai atau tidak menyimpang dari karakter aslinya akan memberikan kesan bagi konsumen (Putri dkk, 2020). Hasil perlakuan 2% memperoleh nilai tertinggi dan paling disukai panelis, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 4%, 6%, maupun K+ (ragi komersial). Warna kecoklatan pada permukaan roti selama proses pemanggangan mengindikasikan terjadinya reaksi Maillard, sebagaimana ditampilkan pada (Gambar 4.3.2). Hal ini didukung oleh jurnal penelitian Al-Jawadi *et al.*, (2025) mengatakan bahwa reaksi Maillard merupakan proses kimia yang terjadi ketika

asam amino bereaksi dengan gula pereduksi, menghasilkan senyawa melanoidin berwarna coklat yang memberikan karakteristik khas pada produk panggang.

Perubahan warna coklat pada permukaan roti selama pemanggangan tidak hanya dipengaruhi oleh reaksi malliard, tetapi juga oleh karamelisasi gula. Karamelisasi gula berperan terhadap pembentukan warna coklat dan aroma caramel pada crust roti. Karamelisasi merupakan reaksi kimia yang terjadi ketika gula mengalami pemanasan, khususnya pada suhu tinggi di atas titik cairnya, yaitu sekitar 80°C (Ertugal, 2021). Selama proses pemanggangan roti, terbentuk lapisan kerak pada permukaan. Perubahan warna awal ditandai dengan munculnya dekstrin berwarna kuning muda ketika suhu permukaan mencapai 110–120 °C. Peningkatan suhu selanjutnya memicu terbentuknya produk reaksi Maillard dan karamelisasi berupa melanoidin serta karamel, yang kemudian berlanjut hingga tahap pembakaran dan menghasilkan massa berpori berwarna hitam (Lukinac *et al.*, 2022).

Sementara itu, nilai rata-rata terendah yaitu K- (khamir tanpa enkapsulasi) dengan nilai 2,65 (agak tidak suka). Hal tersebut terjadi karena pada K- (khamir tanpa enkapsulasi) terdapat aktivitas khamir sementara yang melakukan fermentasi awal pada adonan roti. Akibatnya, reaksi Malliard maupun karamelisasi gula tidak optimal sehingga warna pada roti tidak terbentuk. Hal tersebut didukung oleh jurnal penelitian Sitepu, (2019) yang mengatakan bahwa khamir yang ditambahkan ke dalam adonan akan memengaruhi pembentukan warna. Semakin tinggi konsentrasi khamir, semakin banyak pati yang dikonversi menjadi gula, sehingga reaksi Maillard dan karamelisasi berlangsung lebih cepat

dan menghasilkan crust berwarna coklat. Adanya crust tersebut merupakan akibat dari proses pemanggangan.

Penambahan natrium alginat juga berpengaruh warna roti setelah pemanggangan secara tidak langsung. Menurut jurnal penelitian Tabara *et al.*, (2016) penambahan natrium alginat didalam adonan roti turut mempengaruhi proses oven selama pemanggangan. Hal tersebut disebabkan oleh sifat natrium alginat memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi sehingga meningkatkan retensi air pada adonan. Kondisi tersebut menyebabkan suhu permukaan roti meningkat lebih lambat selama pemanggangan sehingga intensitas reaksi Maillard dan karamelisasi menjadi menurun. Akibatnya, pembentukan pigmen coklat seperti melanoidin dan karamel pada crust roti dapat berkurang sehingga warna roti cenderung lebih pucat.

Aroma adalah uji organoleptik selanjutnya yang memiliki peran penting faktor penentu kualitas roti. Aroma roti memiliki peran dominan dibandingkan dengan analisis sensorik lain seperti tekstur dan rasa. Senyawa pembentuk aroma roti dihasilkan melalui berbagai proses, antara lain fermentasi mikroba, degradasi termal, serta reaksi Maillard yang terjadi selama tahap persiapan adonan, fermentasi, hingga pemanggangan. (Pu *et al.*, 2019). Aroma yang tidak sedap dapat menurunkan persepsi konsumen terhadap mutu produk. Sebelum mencicipi makanan, konsumen biasanya akan mencium aromanya terlebih dahulu untuk menilai apakah produk tersebut layak dikonsumsi (Surono dkk., 2017).

Hasil uji *Mann-Whitney* pada (Tabel 4.3) menunjukkan bahwa nilai aroma roti berkisaran antara 3,05 hingga 4,25. Perlakuan 2% dan 4% memperoleh nilai

aroma tertinggi serta menjadi yang paling disukai oleh panelis. Kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan nyata dalam tingkat penerimaan aroma. Perlakuan 6% memiliki nilai yang lebih rendah dari perlakuan 2% dan 4%, namun perbedaannya juga tidak signifikan. Selain itu, perlakuan K+ (ragi komersial) tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap perlakuan 2%, 4%, maupun 6%. Sedangkan perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi) memperoleh nilai aroma terendah dan menunjukkan perbedaan nyata dengan semua perlakuan lainnya.

Menurut jurnal penelitian Horstmann *et al.*, (2019) aroma roti terbentuk sebagai hasil dari aktivitas fermentasi khamir. Selama proses fermentasi, khamir melakukan metabolisme yang menghasilkan berbagai senyawa volatil, seperti alkohol, aldehida, ester, dan keton. Senyawa-senyawa ini berperan penting dalam menciptakan karakteristik aroma khas roti. Selain itu, menurut Žuljević & Spaho, (2024) proses pemanggangan turut berperan penting dengan memicu reaksi Maillard dan karamelisasi, sehingga dihasilkan senyawa tambahan yang memberikan aroma manis dan panggang. Kombinasi antara fermentasi dan pemanggangan ini menciptakan aroma roti yang lebih kompleks dan khas, sehingga meningkatkan daya tarik produk secara keseluruhan.

Penambahan natrium alginat berperan secara tidak langsung dalam pembentukan aroma roti. Bevilacqua *et al.* (2020) menjelaskan bahwa alginat mampu menjaga serta melindungi sel khamir, sehingga mendukung fermentasi yang optimal dan meningkatkan produksi senyawa volatil, seperti alkohol dan ester. Hal ini sejalan dengan temuan Sitepu (2019), yang menyatakan bahwa

semakin tinggi aktivitas fermentasi khamir, semakin banyak senyawa volatil yang dihasilkan, sehingga aroma khas roti semakin kuat.

Rasa terbentuk melalui sensasi yang dihasilkan dari perpaduan bahan serta komposisi dalam suatu produk pangan, yang kemudian ditangkap oleh indera pengecap (Hastuti dkk., 2024). Rasa menjadi faktor yang sering kali menjadi penentu utama, karena meskipun parameter lain menunjukkan kualitas yang baik, produk tetap akan ditolak apabila rasanya tidak enak atau tidak sesuai dengan preferensi konsumen. Dengan demikian, rasa berfungsi sebagai indikator paling dominan dalam keputusan konsumen untuk menerima atau menolak suatu makanan (Abdullah dkk., 2021). Selama proses pembuatan roti, fermentasi adonan menghasilkan beragam senyawa seperti alkohol, asam, dan ester yang berperan penting dalam pembentukan cita rasa (Saepudin, 2017).

Hasil uji lanjut Mann-Whitney parameter rasa pada (Tabel 4.3) menunjukkan bahwa nilai rasa roti berkisaran antara 2,80 hingga 4,20. Perlakuan 2% dan 4% memperoleh nilai rasa tertinggi serta menjadi yang paling disukai oleh panelis. Kedua perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan nyata dalam tingkat penerimaan rasa. Perlakuan 6% memiliki nilai yang lebih rendah dari perlakuan 2% dan 4%, namun perbedaannya juga tidak signifikan. Selain itu, perlakuan K+ (ragi komersial) tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap perlakuan 2%, 4%, maupun 6%. Sedangkan perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi) memperoleh nilai rasa terendah dan menunjukkan perbedaan nyata dengan semua perlakuan lainnya.

Perlakuan 2% dan 4% menghasilkan roti dengan cita rasa yang paling disukai panelis, ditunjukkan oleh skor tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal tersebut menunjukkan adanya pembentukan senyawa yang berkontribusi dengan rasa roti selama proses fermentasi. Hal ini didukung oleh jurnal penelitian Yang *et al.*, (2022) mengatakan bahwa sebagian cita rasa roti terbentuk dari senyawa yang dihasilkan selama proses fermentasi. Senyawa volatil maupun non-volatil berkombinasi membentuk kombinasi kompleks yang menentukan karakteristik rasa. Selain itu, pengaturan suhu dan lama pemanggangan dalam reaksi Maillard menjadi faktor penting yang memengaruhi intensitas dan kualitas rasa roti.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian Al-Jawadi *et al.*, (2025) yang mengatakan bahwa reaksi Maillard yang terjadi pada rasa merupakan interaksi antara asam amino dan gula pereduksi yang mengalami serangkaian transformasi kimia. Proses ini tidak hanya menghasilkan beragam senyawa rasa, tetapi juga memengaruhi pembentukan aroma khas pada makanan. Senyawa volatil seperti aldehida, serta senyawa non-volatil seperti pirazin, furan, dan keton, turut terbentuk dalam reaksi ini dan berkontribusi besar terhadap cita rasa yang lezat serta menggugah selera.

Rasa roti pada perlakuan K+ (ragi komersial) menunjukkan nilai yang cukup baik, meskipun masih lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan 2% dan 4%. Hal tersebut terjadi karena waktu fermentasi yang terlalu lama atau *overproofing*. *Overproving* dapat menyebabkan roti kehilangan rasa khasnya sehingga menjadi tidak enak serta meningkatkan rasa asam akibat penumpukan

hasil fermentasi alkohol. Menurut Srivastava *et al.*, (2022), fermentasi adonan yang berlangsung terlalu lama menyebabkan sel ragi tetap memetabolisme maltosa hasil hidrolisis pati yang rusak. Sementara itu, Jaishankar & Srivastava (2017) menegaskan bahwa pada fase stasioner, sel khamir masih aktif secara metabolik. Aktivitas tersebut memicu akumulasi metabolit seperti alkohol dan asam organik, yang pada akhirnya dapat menimbulkan rasa roti lebih asam serta menurunkan kualitas sensori produk.

Parameter terakhir yakni tekstur yang merupakan sifat sensori yang dirasakan melalui rabaan atau sentuhan (Hastuti dkk., 2024). Tekstur pada produk pangan merupakan hasil kombinasi dari beberapa sifat fisik, terutama tingkat kekerasan, kekenyalan, dan kerenyahan (Jamilah & Khaerunnis, 2019). Hasil uji lanjut *Mann-Whitney* pada (Tabel 4.3) menunjukkan bahwa nilai tekstur roti berkisar 1,85 sampai 4,00. Perlakuan 2% memperoleh nilai tertinggi dan paling disukai panelis, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 4%, 6%, maupun K+ (ragi komersial). Hal ini mengindikasikan bahwa keempat perlakuan tersebut dinilai memiliki penampilan tekstur roti yang sama baiknya. Sebaliknya, perlakuan K- (khamir tanpa enkapsulasi) memperoleh skor terendah dan berbeda signifikan dari seluruh perlakuan lainnya, menandakan bahwa roti tanpa penambahan ragi kurang disukai panelis dari segi tekstur.

Berdasarkan pada (Gambar 4.3), roti dengan perlakuan 2% memiliki struktur tekstur roti yang paling baik dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini terlihat dari rongga udara pada bagian dalam roti yang terbentuk lebih merata, halus, dan relatif seragam. Struktur rongga yang merata menunjukkan bahwa

proses fermentasi berlangsung optimal sehingga gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan khamir dapat terperangkap dengan baik di dalam jaringan adonan. Hal tersebut dapat didukung oleh jurnal penelitian Choiriyah & Dewi (2020) menyatakan bahwa tekstur roti terbentuk akibat produk fermentasi khamir berupa alkohol dan CO<sub>2</sub>. Gas CO<sub>2</sub> terdispersi dalam gelembung halus yang ditahan oleh jaringan gluten melalui perlakuan mekanis, sehingga setelah pemanggangan menghasilkan pori-pori halus dan tekstur empuk.

Penambahan natrium alginat dapat mempengaruhi tekstur roti. Hal tersebut dikarenakan natrium alginat mampu menyerap air lebih tinggi dan memperkuat struktur adonan selama proses fermentasi maupun pemanggangan. Penambahan natrium alginat menyebabkan air lebih banyak terikat didalam adonan sehingga kelembapan roti tetap terjaga dan struktur crumb menjadi lebih stabil. Namun, peningkatan konsentrasi natrium alginat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur gel menjadi lebih padat sehingga tekstur roti cenderung lebih keras atau kurang empuk (Tabara *et al.*, 2016)

Sementara itu, K+ (ragi komersial) menunjukkan struktur roti yang cukup baik dengan rongga udara yang terbentuk agak merata meskipun tidak sebaik perlakuan 2% dibandingkan K- (khamir tanpa enkapsulasi). Nilai organoleptik tekstur pada K+ (ragi komersial) sebesar  $4,00 \pm 0,973$  menunjukkan tingkat penerimaan panelis yang baik dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 2%, 4%, dan 6%. Sebaliknya dengan K- (khamir tanpa enkapsulasi), struktur roti terlihat paling padat dan kurang mengembang dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Rongga udara yang terbentuk sangat sedikit sehingga tekstur roti tampak lebih

bantat. Rendahnya pengembangan volume adonan menyebabkan tekstur roti menjadi kurang lembut dan kurang disukai panelis. Menurut Suchintita Das *et al.*, (2023) tekstur dan struktur rongga roti dipengaruhi oleh proses pembentukan gas selama fermentasi mikroba. Gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dihasilkan akan terperangkap di dalam jaringan gluten sehingga membentuk rongga-rongga udara yang menentukan kelembutan dan pengembangan volume roti.

#### 4.4 Tinjauan Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an

Hasil penelitian menunjukkan bahwa enkapsulasi khamir (*Saccharomyces cerevisiae*) dengan bahan penyalut natrium alginat berhasil melindungi sel selama fermentasi berlangsung. Dalam perspektif Al-Qur'an, penelitian ini dapat dikaitkan dengan konsep penciptaan makhluk hidup, pemanfaatan ilmu pengetahuan, serta tanda-tanda kekuasaan Allah SWT yang terdapat pada proses alamiah kehidupan mikroorganisme. Allah SWT menciptakan seluruh makhluk hidup dengan system yang teratur dan penuh hikmah, termasuk mikroorganisme yang tidak dapat dilihat keberadaanya memberikan manfaat besar dalam kehidupan, khususnya pada bidang pangan dan bioteknologi. Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT dalam surah Al-Jatsiyah ayat 13 sebagai berikut:

﴿ وَسَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ ۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لٰٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ ۙ ۱۳ ﴾

Artinya: “Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir” (QS. Al-Jasiyah (25): 13).

Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menjelaskan bahwa Allah SWT menundukkan seluruh makhluk dan segala sesuatu yang ada di bumi maupun di

langit agar dapat dimanfaatkan manusia. Semua ciptaan tersebut merupakan nikmat dan bukti kekuasaan Allah bagi orang-orang yang mau berpikir serta mengambil pelajaran. Ibnu Katsir menerangkan bahwa manusia diperintahkan untuk memperhatikan ciptaan Allah dan memanfaatkannya dalam hal yang baik dan bermanfaat.

Dalam kaitannya dengan penelitian ini, khamir *Saccharomyces cerevisiae* merupakan salah satu makhluk ciptaan Allah yang memiliki manfaat penting dalam proses fermentasi pangan. Melalui penelitian enkapsulasi menggunakan natrium alginat, manusia berusaha memahami mekanisme perlindungan sel agar khamir tetap hidup dan bekerja secara optimal. Hal tersebut menunjukkan pemanfaatan ilmu pengetahuan sebagai bentuk pengkajian terhadap sunnatullah atau hukum-hukum Allah yang berlaku di alam. Selain itu, Allah SWT berfirman dalam Surah Al-Qamar ayat 49 sebagai berikut ;

﴿ إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ۙ ٤٩ ﴾

Artinya: *Sesungguhnya Kami menciptakan segala sesuatu sesuai dengan ukuran.* (Al-Qamar (27): 49)

Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menjelaskan bahwa seluruh ciptaan Allah terjadi dengan ketetapan, ukuran, dan keseimbangan yang sempurna. Tidak ada sesuatu pun yang diciptakan secara sia-sia ataupun tanpa aturan. Semua berlangsung sesuai kadar yang telah ditentukan Allah SWT.

Ayat tersebut berkaitan dengan hasil penelitian enkapsulasi natrium alginat, karena variasi konsentrasi alginat memberikan pengaruh berbeda terhadap pelepasan sel khamir. Konsentrasi natrium alginat yang terlalu rendah

menyebabkan perlindungan sel kurang optimal, sedangkan konsentrasi terlalu tinggi dapat membentuk bead yang terlalu padat sehingga pelepasan sel menjadi lambat. Oleh karena itu, diperlukan konsentrasi optimum agar tercapai keseimbangan antara perlindungan dan pelepasan sel. Fenomena ini menunjukkan adanya keteraturan dan keseimbangan sebagaimana dijelaskan dalam tafsir Ibnu Katsir bahwa segala sesuatu diciptakan Allah dengan ukuran tertentu. Allah SWT berfirman dalam Surah An-Nahl ayat 11:

﴿يُنْبِتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

﴿ ١١ ﴾

*Artinya: Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untukmu tumbuh-tumbuhan, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berpikir. (QS. An-Nahl (14): 11).*

Menurut tafsir Ibnu Katsir, ayat ini menjelaskan bahwa Allah SWT menunjukkan kekuasaan-Nya melalui proses kehidupan dan pertumbuhan makhluk hidup yang memberi manfaat bagi manusia. Seluruh proses biologis yang terjadi di alam merupakan bukti kebesaran Allah dan menjadi pelajaran bagi orang-orang yang menggunakan akalnya. Dalam penelitian ini, aktivitas fermentasi oleh *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan perubahan biologis yang bermanfaat, seperti pembentukan gas karbon dioksida yang membantu pengembangan adonan roti. Proses fermentasi tersebut memperlihatkan bagaimana Allah menciptakan mikroorganisme dengan fungsi tertentu yang dapat dimanfaatkan manusia melalui ilmu pengetahuan dan teknologi.

Berdasarkan perspektif tafsir Ibnu Katsir, penelitian mengenai enkapsulasi khamir menggunakan natrium alginat menunjukkan bahwa seluruh ciptaan Allah memiliki manfaat, keteraturan, dan keseimbangan. Penelitian ilmiah tidak hanya bertujuan memperoleh pengetahuan, tetapi juga menjadi sarana untuk memahami kebesaran Allah SWT melalui fenomena alam yang diciptakan-Nya. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat meningkatkan rasa syukur manusia terhadap nikmat ilmu pengetahuan serta mendorong pemanfaatan teknologi secara bijaksana dan bermanfaat bagi kehidupan.

Selain itu, dalam perspektif Al-Qur'an dimana alga yang awalnya hanya dipandang sebagai tumbuhan laut biasa ternyata bisa dimanfaatkan sebagai bahan dasar senyawa natrium alginat. Natrium alginat sebagai senyawa yang bisa membungkus sel khamir *Saccharomyces cerevisiae* selama proses fermentasi roti. Natrium alginate mampu melindungi sel khamir sehingga viabilitas dan aktivitas fermentasi tetap terjaga, yang kemudian menghasilkan kualitas roti yang lebih baik dari segi warna, aroma, rasa, dan tekstur. Hal tersebut tertera didalam surah Ali Imran ayat 191 sebagai berikut.

﴿ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا

خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۙ ۱۹۱ ﴿

Artinya: (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Maha Suci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka. (QS. Ali’Imran (191): 3).

Tafsir Ibnu Katsir mengungkapkan bahwa orang-orang berakal (ulul albab) adalah mereka yang tidak hanya berdzikir kepada Allah, tetapi juga mentafakuri ciptaan-Nya serta memahami hikmah di balik penciptaan alam semesta. Manusia diperintahkan untuk merenungkan ciptaan Allah karena tidak ada sesuatu pun yang diciptakan secara sia-sia, melainkan seluruh ciptaan-Nya memiliki manfaat dan hikmah tertentu (Hasanah & Hartono, 2022). Hal tersebut menunjukkan penelitian enkapsulasi khamir menggunakan natrium alginat menjadi salah satu bentuk implementasi tafakkur sebagaimana yang dijelaskan dalam surah Ali Imran ayat 191. Melalui pengkajian terhadap ciptaan Allah SWT, manusia mampu memahami bahwa setiap makhluk dan sumber daya alam memiliki manfaat serta hikmah yang dapat dikembangkan melalui ilmu pengetahuan. Penelitian ini juga menjadi bentuk kebesaran Allah SWT yang menciptakan alam dengan keteraturan, keseimbangan, dan manfaat bagi kehidupan manusia.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi konsentrasi bahan penyalut natrium alginat berpengaruh terhadap pelepasan sel khamir dari bead enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae*. Konsentrasi natrium alginat 2% selama 12 jam menghasilkan pelepasan sel khamir lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi 4% dan 6% dengan presentase 52,8%. Sementara itu, konsentrasi 6% dengan presentase 33,5% selama 12 jam menghasilkan pelepasan sel yang lebih lambat akibat struktur bead nya yang lebih padat. Sebaliknya dengan pelepasan sel selama 24 jam, konsentrasi 2% terjadi penurunan pelepasan sel dengan presentase 31,9% sedangkan konsentrasi 6% terjadi kenaikan pelepasan sel dengan presentase 53,4%.
2. Pengujian produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) pada enkapsulasi *Saccharomyces cerevisiae* belum menunjukkan hasil adanya gas karbondioksida yang terlepas, sehingga air asam yang didalam gelas ukur terbalik tidak menurun. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya waktu pengamatan terlalu singkat, gas bebas yang dihasilkan selama fermentasi masih tertahan didalam jaringan gluten adonan roti.
3. Variasi konsentrasi natrium alginate berpengaruh terhadap kualitas roti yang dihasilkan, meliputi volume pengembangan adonan, tekstur, aroma, warna, dan rasa. Konsentrasi natrium alginate 2% menghasilkan kualitas roti terbaik dibandingkan perlakuan lainnya. Hal tersebut dikarenakan bead dengan konsentrasi 2% menghasilkan fermentasi lebih optimal pada menit ke 1440 sehingga menghasilkan pengembangan adonan dan karakteristik organoleptik yang lebih baik.

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian kedepannya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan metode pengujian produksi gas karbondioksida yang lebih sensitif agar hasil fermentasi dapat terdeteksi lebih optimal
2. Perlu dilakukan penurunan konsentrasi natrium alginat untuk meningkatkan pelepasan sel khamir dan pengembangan adonan selama fermentasi roti.
3. Perlu dilakukan pengujian penyimpanan roti setelah proses pemanggangan untuk mengetahui daya simpan serta kestabilan kualitas roti.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Kader, A., & Abu Hashish, H. (2020). Encapsulation techniques of food bioproduct. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(5), 1881-1909. <https://journals.ekb.eg/article>.
- Abdullah, A., Fatima, S., & Suriani, S. (2021). Uji Organoleptik Minyak Kelapa Dalam Dengan Pemberian Ekstrak Serai (*Cymbopogo Citratus* L.) Pada Konsentrasi Berbeda. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(1), 15-19.
- Abdumumin, B., Atta, H. I., Atta, A. Y., & El-Yakubu, B. J. (2025). Improving diffusivity of encapsulated *Saccharomyces cerevisiae* via porous silica alginate for enhanced bioethanol production. *Next Sustainability*, 6, 100166–100166. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2025.100166>.
- Afianti, N. S. (2023). Analisis Perbandingan Bahan Penyalut Terhadap Viabilitas Enkapsulan Campuran Khamir *Saccharomyces cerevisiae* dan *Candida tropicalis* Sebagai Agen Pengembang Roti. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Agustin, D. A., & Wibowo, A. A. (2021). Teknologi enkapsulasi: teknik dan aplikasinya. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 202-209. .
- Andragogi, V., Bintoro, V. P., & Susanti, S. (2018). Pengaruh berbagai jenis gula terhadap sifat sensori dan nilai gizi roti manis. *Jurnal Teknologi Pangan*, 2(2), 163-167.
- Anggraeni, M. C., Nurwantoro, & Abduh, S. B. M. (2017). Sifat Fisikokimia Roti yang Dibuat Dengan Bahan Dasar Tepung Terigu yang Ditambah Berbagai Jenis Gula. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 6(1).
- Arwini, N. P. D. (2021). Roti, Pemilihan Bahan Dan Proses Pembuatan. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 4(1), 33-40.
- Asrim, M. L., Mile, L., & Naiu, A. S. (2022). Formulasi dan Karakterisasi Organoleptik Roti Manis yang Disubstitusi dengan Tepung Ikan Lele Dumbo (*Clarias gariepinus*) pada Formula Terpilih. *The NIKE Journal*, 10(4), 163-170.
- Bansfield, D., Spilling, K., Mikola, A., & Piiparinen, J. (2023). Growth of fungi and yeasts in food production waste streams: a feasibility study. *BMC microbiology*, 23(1), <https://doi.org/10.1186/s12866-023-03083-6>.
- Beikzadeh, S., Sadeghi, A., Khezerlou, A., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2025). Enrichment of bread with encapsulated probiotics as a functional product containing bioactive compounds: Principles, outcomes, and challenges. *Future Foods*, 100732. <https://www.sciencedirect.com>.
- Bennacef, C., Desobry-Banon, S., Probst, L., & Desobry, S. (2021). Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. *Food hydrocolloids*, 118, 106782.
- Bennacef, C., Desobry-Banon, S., Probst, L., & Desobry, S. (2021). Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. *Food hydrocolloids*, 118, 106782.
- Bevilacqua, A., Campaniello, D., Speranza, B., Racioppo, A., Altieri, C., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2020). Microencapsulation of *saccharomyces cerevisiae* into alginate beads: A focus on functional properties of released cells. *Foods*, 9(8), 1051. <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/8/1051>.

- Bitrus, J., Amadi, O.C., Nwagu, T.N., Nnamchi, C.I. and Moneke, A.N. (2020) Application of Wild Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Isolates from Palm Wine and Honey in Baking of Cassava/Wheat Composite Bread. *Food and Nutrition Sciences*, 11, 695-711.
- BSN, B. S. N. (2006). *Petunjuk Pengujian dan Atau Sensori*. SNI 01-2346-2006. Standar Nasional Indonesia.
- Bustos-Terrones, Y. A. (2024). A review of the strategic use of sodium alginate polymer in the immobilization of microorganisms for water recycling. *Polymers*, 16(6), 788.
- Cahyaningtiyas, A., & Sindhuwati, C. (2021). Pengaruh penambahan konsentrasi *saccharomyces cerevisiae* pada pembuatan etanol dari air tebu dengan proses fermentasi. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 89-94.
- Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The role of microencapsulation in food application. *Molecules*, 27(5), 1499.
- Cao, X., Wu, H., Viejo, C. G., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2023). Effects of postharvest processing on aroma formation in roasted coffee—a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1007-1027.
- Catrien, Y., Surya, S., Ertanto, T. 2008. *Reaksi Maillard Pada Produk Pangan. Penulisan Ilmiah. Program Kreativitas Mahasiswa*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Chávez-Falcón, M. S., Buitrago-Arias, C., Avila-Reyes, S. V., Solorza-Feria, J., Arenas-Ocampo, M. L., Camacho-Díaz, B. H., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2022). Kinetics and mechanisms of *saccharomyces boulardii* release from optimized whey protein–agavin–alginate beads under simulated gastrointestinal conditions. *Bioengineering*, 9(9), 460. <https://www.mdpi.com/2306-5354/9/9/460>.
- Chendawati. (2013). *Roti Modern*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Choiriyah, N.A. and Dewi, I.C., 2020. Daya Terima Roti Tawar Mocaf dan Ubi Jalar pada Santriwati Pesantren X. *Media pertanian*, 5(1).
- Corbu, V. M., & Csutak, O. (2022). Molecular and physiological diversity of indigenous yeasts isolated from spontaneously fermented wine wort from Ilfov county, Romania. *Microorganisms*, 11(1), 37. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/1/37>.
- Cozmuta, A. M., Jastrzębska, A., Apjok, R., Petrus, M., Cozmuta, L. M., Peter, A., & Nicula, C. (2021). Immobilization of baker's yeast in the alginate-based hydrogels to impart sensorial characteristics to frozen dough bread. *Food Bioscience*, 42, 101143. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101143>.
- Di Bartolomeo, F., Malina, C., Campbell, K., Mormino, M., Fuchs, J., Vorontsov, E., ... & Nielsen, J. (2020). Absolute yeast mitochondrial proteome quantification reveals trade-off between biosynthesis and energy generation during diauxic shift. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(13), 7524-7535.
- Eigenfeld, M., Wittmann, L., Kerpes, R., Schwaminger, S., & Becker, T. (2023). Quantification methods of determining brewer's and pharmaceutical yeast cell viability: accuracy and impact of nanoparticles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415(16), 3201-3213. <https://doi.org/10.1007>.

- Ertuğral, T. G. (2021). Determination of phenolic state and antioxidant potential resulting from caramelization in some industrial and traditional bread types. *Journal of Apitherapy and Nature*, 4(1), 49-59.
- Ertuğral, T. G. (2021). Determination of phenolic state and antioxidant potential resulting from caramelization in some industrial and traditional bread types. *Journal of Apitherapy and Nature*, 4(1), 49-59.
- Essifi, K., Brahmi, M., Berraouan, D., Ed-Daoui, A., El Bachiri, A., Fauconnier, M. L., & Tahani, A. (2021). Influence of sodium alginate concentration on microcapsules properties foreseeing the protection and controlled release of bioactive substances. *Journal of chemistry*, 2021(1), 5531479. Doi: <https://doi.org/10.1155/2021/5531479>.
- Fathi M, Martín Á, McClements DJ. 2014. Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*. 39: 18–39.
- Fernando, P. A. I., Kennedy, A. J., Pokrzywinski, K., Jernberg, J., Thornell, T., George, G., ... & Coyne, K. J. (2024). Development of alginate beads for precise environmental release applications: A design of experiment based approach and analysis. *Journal of Environmental Management*, 351, 119872.
- Frent, O. D., Vicas, L. G., Duteanu, N., Morgovan, C. M., Jurca, T., Pallag, A., ... & Marian, E. (2022). Sodium alginate—natural microencapsulation material of polymeric microparticles. *International journal of molecular sciences*, 23(20), 12108. <https://pdf.sciencedirectassets.com>.
- Ghorbani-Choboghlo, H., Zahraei-Salehi, T., Ashrafi-Helan, J., Yahyaraeyat, R., Pourjafar, H., Nikaein, D., ... & Khosravi, A. R. (2015). Microencapsulation of *Saccharomyces cerevisiae* and its evaluation to protect in simulated gastric conditions. *Iranian journal of microbiology*, 7(6), 338.
- Gloriana, E. M., & Sagita, L. (2021). Karakterisasi flavonoid daun kitolod dengan metode maserasi dan enkapsulasi. *Chempro*, 2(2), 44-51.
- Goldammer, T. (2022). *Buku Pegangan Pembuat Bir: Buku Lengkap tentang Pembuatan Bir* (Edisi ke-3). Apex Publishers. ISBN 979-8-88757-911-5.
- Gusnadi, D., Taufiq, R., & Baharta, E. (2021). Uji Organoleptik Daya Terima Padi Produk Mousse Berbasis Tapai Singkong Sebagai Komoditi UMKM di Kabupaten Bandung. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 1(12).
- Harapan, M., Rahayu, Y. P., Lubis, M. S., & Yuniarti, R. (2024). Produksi Protein Sel Tunggal dari Kultur *Saccharomyces cerevisiae* dengan Medium Limbah Cair Tahu. *Vitalitas Medis: Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 1(2), 109-128.
- Haryani, K., Hargono, H., Handayani, N. A., Ramadani, P., & Rezekia, D. (2017). Substitusi terigu dengan pati sorgum terfermentasi pada pembuatan roti tawar: Studi suhu pemanggangan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 6(2).
- Hasanah, U., & Hartono, H. (2022). Tafakur Sebagai Konsepsi Menuju Keabadian Manusia Modern:(Telaah Tafsir Surah Ali-Imran Ayat 190-191). *As-Syifa: Journal of Islamic Studies and History*, 1(1), 01-24.
- Hastuti, N. D., Indriawan, R., & Selvianti, I. (2024). Uji Organoleptik (Sensori) dan Kadar Air Pembuatan Cookies dengan Penambahan Tepung Biji Nangka (*Artocarpus heterocephalus*). *Jurnal Teknologi Pangan dan Industri Perkebunan (LIPIDA)*, 4(1), 64-73.

- Husain, H., Wahyuni, S., & Faradilla, R. F. (2025). KARAKTERISTIK FISIK BERBAGAI TEPUNG SUBSTITUSI BEBAS GLUTEN: STUDI PUSTAKA. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*, 10(2).
- Ibrahim, A. R., Suharman, A., & Sari, D. K. (2022). *Bahan Ajar Kimia Pangan Konstruktivisme 5 Fase Needham*. Bening Media Publishing.
- Insani, H., Rizqiati, H., & Pratama, Y. (2018). Pengaruh variasi konsentrasi sukrosa terhadap total khamir, total padatan terlarut, kadar alkohol dan mutu hedonik pada water kefir buah naga merah (*Hyloreceus polyrhizus*). *Jurnal Teknologi Pangan*, 2(2), 90-97.
- Istudor, A., Voicu, G., Muscalu, G., & Tudor, P. (2020). Evaluation of carbon dioxide released by bread dough during proving stage. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 180, p. 03012). EDP Sciences.
- Jaishankar, J., & Srivastava, P. 2017. Molecular Basis of Stationary Phase Survival and Applications. *Front Microbiol.* Vol.8: 2000.
- Jamilah, J., & Khaerunnisa, K. (2019). Aplikasi Tepung Kelapa dalam Produk Roti Manis. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 14(1), 1-10.
- Jeyakumari, A., Zynudheen, A. A., & Parvathy, U. (2016). Microencapsulation of bioactive food ingredients and controlled release-a review. *MOJ Food process Technol* 2016, 2(6): 00059. <https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/food.201600059>.
- Kasaie, Z., Rad, A. H., Kargozari, M., & Oskouie, M. J. (2017). Evaluation of survivability and bioactivity of *Saccharomyces cerevisiae* in bread dough. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 18(3), 249-257. <https://www.researchgate.net/profile/Aziz>.
- Khazalina, T. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* dalam Pembuatan Produk Halal Berbasis Bioteknologi Konvensional dan Rekayasa Genetika. *Journal of Halal Product and Research*, 3(2), 88-94. <https://ejournal.unair.ac.id/JHPR>.
- Koswara, Sutrisno (2009) *Teknologi Pengolahan Roti. Seri Teknologi Pangan Populer*. Ebook Pangan.
- Kusnandar, F., Danniswara, H., & Sutriyono, A. (2022). Pengaruh Komposisi Kimia dan Sifat Reologi Tepung Terigu Terhadap Mutu Roti Manis. *Jurnal Mutu Pangan*. 9(2) : 67-75,2022. DOI : 10.29244/jmpi.2022.9.2.67.
- Kusnedi, R. (2021). Pengaruh Penambahan Pengembang Roti Terhadap Parameter Organoleptik Pada Pembuatan Roti Manis. *Jurnal British*, 1(2), 60–75.
- Kustyawati, M. E. (2020). *Mikrobiologi Hasil Pertanian (Buku Ajar)*. Bandar Lampung. Pusaka Media.
- Lahue, C., Madden, A. A., Dunn, R. R., & Smukowski Heil, C. (2020). History and domestication of *Saccharomyces cerevisiae* in bread baking. *Frontiers in genetics*, 11, 584718. <https://www.frontiersin.org/>.
- Lata, P., Sharma, K. B., Rangra, S., & Kumari, R. (2023). Probiotic characterization of *Saccharomyces cerevisiae* Y196 and Y197 isolated from rice chhang-a fermented beverage of Lahaul Spiti. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 12(5), e5817-e5817. <https://orcid.org/0000-0002-7183-370X>.

- Lestari, E., Sandri, D., Fatimah, F., & Umaira, U. (2019). Volume Kembang Adonan Dan Sensory Roti Manis Yang Dibuat Dari Modified Talipuk Flour (Motaf). *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 24(2), 113.
- Łętocha, A., Miastkowska, M., & Sikora, E. (2022). Preparation and characteristics of alginate microparticles for food, pharmaceutical and cosmetic applications. *Polymers*, 14(18),3834.<https://www.mdpi.com/journal/polymers>.
- Lukinac, J., Komlenić, D. K., Čolić, M. L., Nakov, G., & Jukić, M. (2022). Modelling the browning of bakery products during baking: a review. *Ukrainian food journal*, 11(2), 217-234. <https://dspace.nuft.edu.ua>.
- Maicas, S.(2020). The Role of Yeasts in Fermentation Processes. *Microorganisms* 8,1142;doi:10.3390/microorganisms8081142.<https://www.mdpi.com/microorganisms>
- Meta, H., Sokra, I., & Somaly, S. (2026). Comparative review of hedonic, descriptive, and discrimination sensory tests. *Journal of Agriculture and Technology*, 2(1), 287-297. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30937733>.
- Mohammed, S.F., Mahmood, F.A. & Abas, E.R. (2018). A review on effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as feed additives in ruminants performance. *Journal of Entomology and Zoology Studies* , 6(2): 629-635
- Mokhtari, S., Jafari, S. M., Khomeiri, M., Maghsoudlou, Y., & Ghorbani, M. (2017). The cell wall compound of *Saccharomyces cerevisiae* as a novel wall material for encapsulation of probiotics. *Food Research International*, 96, 19-26. <https://www.sciencedirect.com/science/article5>.
- Monica, A., & Sutedja, A. M. (2025). Peranan Alginat Sebagai Material Enkapsulasi Dalam Menjaga Kestabilan Jumlah dan Aktivitas Antioksidan Polifenol. *Zigma*, 40(1) 282-295.
- Muna, S. N., Noviasari, S., & Muzaifa, M. (2023). Pangan lokal sebagai bahan baku produk bakeri non-gluten: ulasan jenis dan karakteristik produk yang dihasilkan. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(3), 345-351.
- Munteanu, G. M., Voicu, G., Ferdeş, M., Ştefan, E. M., Constantin, G. A., & Tudor, P. (2019). Dynamics of fermentation process of bread dough prepared with different types of yeast. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 20(4), 575-584.
- Noer, Z & Irma, Mutiara (2021). Peran Elastisitas Gluten dalam Menentukan Kualitas Roti. Guepedia.
- Oktarina, E., Adrianto, R., & Setiawati, I. (2017). Immobilisasi Bakteri pada Kitosan-alginat dan Kitin-alginat. *Majalah Teknologi Agro Industri (TEGI)*, 9(2).
- Onesiforus, B. Y., Rinihapsari, E., Yarangga, F. T. D., & Pradistya, R. (2021). Perbandingan Kemampuan Fermentasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* dari Berbagai Media Kultur. *Bioma*, 17(2), 65-73.
- Opalek, M., Wloch-Salamon, D., & Smug, B. J. (2025). Assessing methods for estimating microbial lag phase duration: a comparative analysis using *Saccharomyces cerevisiae* empirical and simulated data. *FEMS Yeast Research*, 25, foaf033.

- Parapouli, M., Vasileiadis, A., Afendra, A. S., & Hatziloukas, E. (2020). *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. *AIMS microbiology*, 6(1), 1. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- Pasya, S. H., Pratama, A., & Anggaeni, T. T. K. (2025). Variasi Lama Penyimpanan Daging Ayam Broiler (*Gallus domesticus*) yang Dikemas Beeswax Wrap Terhadap Total Jumlah Bakteri, Nilai pH, dan Daya Ikat Air. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*, 6(1), 43-55.
- Pech-Canul, A. D. L. C., Ortega, D., García-Triana, A., González-Silva, N., & Solis-Oviedo, R. L. (2020). A brief review of edible coating materials for the microencapsulation of probiotics. *Coatings*, 10(3), 197. [www.mdpi.com/journal/coatings](http://www.mdpi.com/journal/coatings).
- Pereira, A. P., Mendes-Ferreira, A., Estevinho, L. M., & Mendes-Faia, A. (2014). Mead production: fermentative performance of yeasts entrapped in different concentrations of alginate. *Journal of the Institute of Brewing*, 120(4), 575-580. (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jib.175.
- Periadnadi, P., Sari, D. K., & Nurmiati, N. (2018). Isolasi dan keberadaan khamir potensial pemfermentasi nira aren (*Arenga pinnata* Merr.) dari dataran rendah dan dataran tinggi di Sumatera Barat. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 4(1), 29-36.
- Pratama, A., Fitriani, A., Chairunnisa, H., & Tyas, T. (2017). (Isolasi Dan Screening Yeast Isolat Lokal Dari Dendeng Sapi Dan Ayam Yang Memiliki Potensi Fermentasi Glukosa). *Jurnal neu Ternak Universitas Padjadjaran*, 17(1), 10-13. doi: 10.24198/jit.v17i1.14797
- Pratiwi, E., Akhdiya, A., & Akhdiya, A. (2020). Keragaman Karakter Morfologi dan Biokimia Isolat Khamir Rizosfer dan Endofit Tanaman Padi. *Buletin Plasma Nutfah*, 26(1), 39.
- Prihartini, M., & Ilmi, M. (2018). Karakterisasi dan klasifikasi numerik khamir dari madu hutan Sulawesi Tengah. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 2(2), 112-128.
- Pu, D., Zhang, H., Zhang, Y., Sun, B., Ren, F., & Chen, H. (2019). Characterization of the key aroma compounds in white bread by aroma extract dilution analysis, quantitation, and sensory evaluation experiments. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(5), e13933.
- Puspita, D., Nadia, E., Immanuel, E., & Titania, MC. (2020). Isolasi, identifikasi dan uji produksi yeast yang diisolasi dari nira kelapa. *Biosfer: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5(1), 1-5.
- Putri, Desiana Nuriza, Livia Windiana, dan Okta Pringga Pakpahan. 2020. *Teknologi Frozendough dan Sourdough*. Malang: UMM Press.
- Raharditya, C., Septiani, F.B., Rini, P.A., ..& Faizah. (2025). Pengaruh Variasi Waktu Proofing Terhadap Mutu Fisik dan Sensori Roti. *Sriwijaya FoodTech Journal*, Vol 02 No 02, Desember 2025
- Rahmadhanimara, R., & Purwinarti, T. (2022). Sensory Marketing: Aroma Dan Cita Rasa Terhadap Pembentukan Persepsi Konsumen (Studi Kasus: Gerai Roti O Di Stasiun Krl Commuter Line Jakarta Selatan). *EPIGRAM (e-journal)*, 19(2), 162-173.
- Rani, S., & Kamble, D. B. (2024). Extrusion Technology for Encapsulation: Principle, Method, and Application. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 7(1), 28-40. Journal homepage: <https://jfabe.ut.ac.ir>

- Rayani, N., Darlian, L., Kolaka, L., & Triyaswati, D. (2024). Pengaruh Konsentrasi Ragi Dan Proofing Pada Pembuatan Adonan Roti. *AMPIBI: Jurnal Alumni Pendidikan Biologi*, 9(1), 78-82.
- Ridhani, M. A., & Aini, N. (2021). Potensi penambahan berbagai jenis gula terhadap sifat sensori dan fisikokimia roti manis. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(3), 61-68.
- Ridhani, M. A., Vidyaningrum, I. P., Akmala, N. N., Fatihatunisa, R., Azzahro, S., & Aini, N. (2021). Potensi Penambahan Berbagai Jenis Gula Terhadap Sifat Sensori dan Fiiokimia Roti Manis. *Pasundan Food Technology Journal*, 8(3).
- Safitri, A., Roosdiana, A., Prasetyawan, S., & Srihardyastutie, A. (2023). *Teknologi Mikroenkapsulasi Untuk Bahan Alam*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Sari, Y.I. 2020. Isolasi dan Karakterisasi Khamir pada Buah Salak Pondoh (*Salaccaedulis Reinw.*) sebagai Kandidat Pengembang Roti. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Sari, Z. N., Nirwanto, H., & Lestari, S. R. (2025). Effect of Calcium Chloride Concentration on Viability and Swelling Power of *Paenibacillus polymyxa* Encapsulated Beads in Vitro. *BIOEDUSCIENCE*, 9(2):206-213, 2025.
- Shabrina, N. (2017). Pengaruh Substitusi Tepung Terigu dengan Tepung Kacang Koro Pedang (*Canavalia ensiformis L*) dan Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Roti Tawar. *Skripsi. Repository Unpas*, 53(9), 1689-1699.
- Sıçramaz, H., Dönmez, A. B., Güven, B., Ünal, D., & Aşbay, E. (2025). Microstructure and Release Behavior of Alginate–Natural Hydrocolloid Composites: A Comparative Study. *Polymers*, 17(4), 531.
- Sitepu, K. M. (2019). Penentuan Konsentrasi Ragi pada Pembuatan Roti. *Jurnal Penelitian Dan Agrokompleks*, 2(1).
- Soesanto, L., & Mugiastuti, E. (2023). *Mikroba Endofit Eksplorasi, Potensi, dan Pemanfaatan Mikroba Endofit Bagi Kesehatan Tanaman dan Manusia Serta Keuntungan Ekonomi*. Lilly Publisher.
- Sofia, W. N. (2021). Interpretasi Imam Al-Maraghi dan Ibnu Katsir Terhadap Qs. Ali Imran Ayat 190-191: Imam Al-Maraghi and Ibn Kathir's Interpretation of Qs. Ali Imran Verses 190-191. *Tafkir: Interdisciplinary Journal of Islamic Education*, 2(1), 41-57.
- Sousa-Dias, M. L., Paula, V. B., Dias, L. G., & Estevinho, L. M. (2021). Mead production using immobilized cells of *saccharomyces cerevisiae*: Reuse of sodium alginate beads. *Processes*, 9(4), 724.
- Srivastava, S., Kollemparembil, A. M., Zettel, V., Claßen, T., Mobarak, M., Gatternig, B., ... & Hitzmann, B. (2022). An innovative approach in the baking of bread with CO2 gas hydrates as leavening agents. *Foods*, 11(22), 3570.
- Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., & Courtin, C. M. (2017). Bread dough and baker's yeast: An uplifting synergy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 850-867. <https://www.researchgate.net/profile>.
- Suchintita Das, R., Tiwari, B. K., & Garcia-Vaquero, M. (2023). The fundamentals of bread making: The science of bread. In *Traditional*


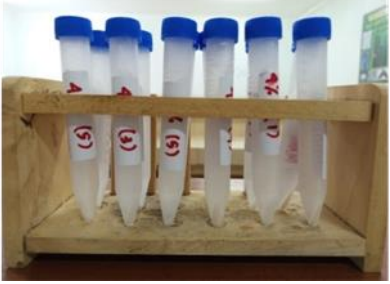
- European breads: An illustrative compendium of ancestral knowledge and cultural heritage* (pp. 1-40). Cham: Springer International Publishing.
- Sumanti, D., Kayaputri, I. L., Hanidah, I. I., Sukarminah, E., & Giovanni, A. (2016). Pengaruh konsentrasi susu skim dan maltodekstrin sebagai penyalut terhadap viabilitas dan karakteristik mikroenkapsulasi suspensi bakteri *Lactobacillus plantarum* menggunakan metode freeze drying. *Jurnal Penelitian Pangan (Indonesian Journal of Food Research)*, 1(1).
- Surono, D. I., Nurali, I. E. J., & Moningka, I. J. S. (2017). Kualitas fisik dan sensoris roti tawar bebas gluten bebas kasein berbahan dasar tepung komposit pisang goroho (*Musa acuminata* L.). *In Cocos* (Vol. 8, No. 2).
- Suryaningsih, V., Ferniah, R. S., & Kusdiyantini, E. (2018). Karakteristik morfologi, biokimia, dan molekuler isolat khamir IK-2 hasil isolasi dari jus buah sirsak (*Annona muricata* L.). *Jurnal Akademika Biologi*, 7(1), 18-25.
- Tabara, A., Miyajima, C., Moki, N., Kasahara, F., & Seguchi, M. (2016). Improvement of bread making properties by the addition of alginates. *Food Science and Technology Research*, 22(1), 145-151. <https://www.jstage/>.
- Umama, J. J., Bauer-Estrada, K., Filomena-Ambrosio, A., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2024). Survival of encapsulated *Lactiplantibacillus plantarum* probiotics on soft bread throughout gastrointestinal tract transit: Physicochemical characteristics, sensory profile, and functional activity. *Journal of Cereal Science*, 118, 103971. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103971>.
- Utami, U., Putra, D. C. W., & Harianie, L. (2024, February). Viability test of yeast encapsulation (*Candida tropicalis*) using sodium alginate polymer in bread production. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol.1312, No.1, p.012053). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/1312/1/012053/meta>.
- Valero-Cases, E., Reboredo-González, A., Esteban, M. Á., & Frutos, M. J. (2025). Design of Multi-Component Beads (Alginate/Xanthan/Glycerol): Influence of Polymer Concentration on *Lactobacillus acidophilus* Viability and Release in Complex Food Systems. *Food and Bioprocess Technology*, 1-13.
- Venkatachalam, K., Charoenphun, N., Nitikornwarakul, C., & Lekjing, S. (2025). Effect of Sodium Alginate Concentration on the Physicochemical, Structural, Functional Attributes, and Consumer Acceptability of Gel Beads Encapsulating Tangerine Peel (*Citrus reticulata* Blanco 'Cho Khun') Extract. *Gels*, 11(10), 808.
- Wang, X., Gao, S., Yun, S., Zhang, M., Peng, L., Li, Y., & Zhou, Y. (2022). Microencapsulating alginate-based polymers for probiotics delivery systems and their application. *Pharmaceuticals*, 15(5), 644. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9144165/pdf/pharmaceuticals-15-00644.pdf>.
- Wati, R. R., Sriwidodo, & Chaerunisaa, A. Y. (2020). Review Teknik Mikroenkapsulasi Pada Ekstrak Mangosteen. *JCPS (Journal of Current Pharmaceutical Sciences)*, 3(2).
- Winarno, F.G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.

- Wulandari, S., Nisa, Y. S., Taryono, T., Indarti, S., & Sayekti, R. S. (2022). Sterilisasi peralatan dan media kultur jaringan. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 4(2), 16-19.
- Xu, Y., Yan, X., Zheng, H., Li, J., Wu, X., Xu, J., ... & Du, C. (2024). The application of encapsulation technology in the food Industry: Classifications, recent Advances, and perspectives. *Food Chemistry: X*, 101240.
- Yana, S. (2015). Analisis pengendalian mutu produk roti pada nusa indah bakery Kabupaten Aceh Besar. *Industrial Engineering Journal*, 4(1).
- Yang, Y., Zhao, X., & Wang, R. (2022). Research progress on the formation mechanism and detection technology of bread flavor. *Journal of Food Science*, 87(9), 3724-3736.
- Yuan, D., Xiao, W., Gao, Z., Hu, B., Wenxin, J., Li, Y., ... & Ni, X. (2023). Modulating in vitro fecal fermentation behavior of sodium alginate by Ca<sup>2+</sup>-cross-linking. *Food Research International*, 174, 113552.
- Zahroh, N. (2022). Analisis Senyawa Volatil Pada Roti Hasil Fermentasi Oleh Khamir Endofit Buah Salak Pondoh (*Salacca edulis* Reinw.) Beserta Identifikasi Molekuler. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Zahroh, N., Utami, U., & Kusmiyati, N. (2022). Effect of Nitrogen Source on Growth Endophytic Yeast from *Salacca edulis* Reinw. and Bread Quality Analysis. *Jurnal Biodjati*, 7(1), 95108. <http://journal.uinsgd.ac.id/index.php/biodjati>.
- Zamora-Vefa, R., Montanez-Soto, J.L., Martines-Flores, H.E...&Ortega, T.D.J. (2012). Effect of Incorporating Prebiotics in Coating Materials for the Micrencapsulation of *Saccharomyces boulardii*. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*; 63 (8): 930-935.
- Zhang, Y., Momoisea, P., Lin, Q., Liang, J., Burrow, K., & Serventi, L. (2023). Evaluation of sensory and physicochemical characteristics of vitamin B<sub>12</sub> enriched whole-meal sourdough bread fermented with *propionibacterium freudenreichii*. *Sustainability*, 15, 8157. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/8157>.
- Žuljević, S. O., & Spaho, N. (2024). Bread aroma and flavour creation factors. *In The Science of Fermentation*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.115114>.


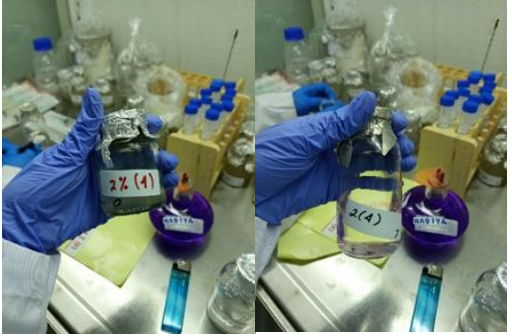


## LAMPIRAN






**Lampiran 1. Peremajaan dan perbanyakan isolat khamir *Saccharomyces cerevisiae***

No	Gambar	Keterangan
1		Peremajaan khamir pada media YMEA
2		Diambil 2 ose koloni dari media hasil peremajaan pada media YMB 15 mL, kemudian dihomogenkan menggunakan Vortex dan Diinkubasi pada Incubator Shaker selama 24 jam dengan kecepatan 140 rpm
3		Dilakukan pengayaan khamir dengan menambakan 1 mL suspensi dari media YMB hasil kultur pada media YPG 9 mL, kemudian dihomogenkan menggunakan vortex dan diinkubasi pada Incubator Shaker selama 48 jam dengan kecepatan 140 rpm,
4		Disentrifugasi menggunakan Sentrifuge dengan kecepatan 4000 rpm selama 15 menit





5		<p>Media yang terpisah dari pelet hasil sentrifus dibuang dan ditambahkan NaCl 0,9% dan divortex. Kemudian disentrufus kembali dan NaCl 0,9% yang terpisah dengan pelet dibuang dan ditambahkan akuades</p>
6		<p>didapatkan suspensi khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> yang siap digunakan</p>

**Lampiran 2. Prosedur enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* metode ekstrusi**

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Penimbangan natrium alginat, kemudian ditambahkan akuades steril berdasarkan persen yang dibutuhkan,</p>
2		<p>Natrium alginat dan <math>\text{CaCl}_2</math> sebelum dienkapsulasi</p>
3		<p>Enkapsulasi dengan metode ekstrusi menggunakan <i>Syringe</i> steril 21G, kemudian didamkan selama 30 menit</p>
4		<p>Bead yang sudah terbentuk disaring dengan kertas saring kasar dan dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa <math>\text{CaCl}_2</math></p>

5	   	<p>Bead hasil enkapsulasi dimasukkan ke dalam botol kaca steril dan ditutup menggunakan aluminium foil steril dan plastik wrap</p>
6		<p>Bead disimpan pada suhu 4°C sampai siap digunakan</p>

**Lampiran 3. Uji pelepasan sel khamir dari bead enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae***

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Disiapkan sampel bead sebanyak 1 g bead dimasukkan ke dalam 10mL NaCl 0,9%</p>
2		<p>Bead yang sudah disiapkan, disimpan pada orbital shaker dengan kecepatan 110 rpm selama 12 jam dan 24 jam</p>
3		<p>Setiap waktu pengamatan, larutan diambil sebanyak 1 mL dan dilakukan pengenceran berseri (<math>10^{-1}</math> hingga <math>10^{-6}</math>). Sebanyak 100 <math>\mu</math>L dari pengenceran <math>10^{-1}</math> diinokulasikan ke media <i>Yeast Peptone Glucose Agar</i> (YPGA) menggunakan metode plating. Kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama sekitar 48 jam.</p>
4		<p>Setelah inkubasi, koloni ragi yang tumbuh di permukaan media dihitung menggunakan <i>colony counter</i>.</p>

**Lampiran 4. Hasil uji statistik pengaruh konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel khamir *Saccharomyces cerevisiae***

- a. Hasil Uji Two-way ANOVA pengaruh konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel khamir *Saccharomyces cerevisiae*

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Koloni

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1479.767 <sup>a</sup>	5	295.953	26.075	.000
Intercept	30400.833	1	30400.833	2678.488	.000
Waktu	80.033	1	80.033	7.051	.014
Konsentraasi	96.867	2	48.433	4.267	.026
Waktu * Konsentraasi	1302.867	2	651.433	57.395	.000
Error	272.400	24	11.350		
Total	32153.000	30			
Corrected Total	1752.167	29			

a. R Squared = .845 (Adjusted R Squared = .812)

- b. Hasil Uji Tukey pengaruh konsentrasi natrium alginat terhadap pelepasan sel khamir *Saccharomyces cerevisiae*

**Koloni**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

PH	N	Subset		
		1	2	3
A3B1	5	24.60		
A1B2	5	25.60		
A2B2	5	25.80		
A2B1	5		33.40	
A3B2	5		39.20	39.20
A1B1	5			42.40
Sig.		.993	.107	.666

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 11.350.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = 0,05.

c. Hasil perhitungan TPC (*Total Plate Count*) sebelum enkapsulasi

Contoh perhitungan TPC (*Total Plate Count*) sebelum enkapsulasi perlakuan 2% ulangan 1

$$\text{CFU/g} = \frac{N}{V \times D}$$

$$\text{CFU/g} = \frac{93}{0,1 \times 10^{-5}}$$

$$\text{CFU/g} = 9,3 \times 10^7$$

Sampel	Ulangan	Jumlah Koloni (N)	Volume yang ditanam (V)	Pengenceran (D)	CFU
2%	1	82	0,1 ml	$10^{-5}$	$8,2 \times 10^7$
	2	74	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,4 \times 10^7$
	3	85	0,1 ml	$10^{-5}$	$8,5 \times 10^7$
	4	87	0,1 ml	$10^{-5}$	$8,7 \times 10^7$
	5	73	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,3 \times 10^7$
4%	1	76	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,6 \times 10^7$
	2	78	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,8 \times 10^7$
	3	66	0,1 ml	$10^{-5}$	$6,6 \times 10^7$
	4	75	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,5 \times 10^7$
	5	76	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,6 \times 10^7$
6%	1	67	0,1 ml	$10^{-5}$	$6,7 \times 10^7$
	2	77	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,7 \times 10^7$
	3	76	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,6 \times 10^7$
	4	78	0,1 ml	$10^{-5}$	$7,8 \times 10^7$
	5	69	0,1 ml	$10^{-5}$	$6,9 \times 10^7$

- d. Hasil perhitungan TPC (*Total Plate Count*) setelah enkapsulasi selama 12 jam

Contoh perhitungan TPC (*Total Plate Count*) setelah enkapsulasi perlakuan 2% ulangan 1

$$\text{CFU/g} = \frac{N}{V \times D}$$

$$\text{CFU/g} = \frac{41}{0,1 \times 10^{-5}}$$

$$\text{CFU/g} = 4,1 \times 10^7$$

Sampel	Ulangan	Jumlah Koloni (N)	Volume yang ditanam (V)	Pengenceran (D)	CFU
2%	1	41	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,1 \times 10^7$
	2	43	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,3 \times 10^7$
	3	41	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,1 \times 10^7$
	4	45	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,5 \times 10^7$
	5	42	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,2 \times 10^7$
4%	1	33	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,3 \times 10^7$
	2	35	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,5 \times 10^7$
	3	26	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,6 \times 10^7$
	4	34	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,4 \times 10^7$
	5	39	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,9 \times 10^7$
6%	1	23	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,3 \times 10^7$
	2	25	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,5 \times 10^7$
	3	24	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,4 \times 10^7$
	4	25	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,5 \times 10^7$
	5	26	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,6 \times 10^7$

- e. Hasil perhitungan TPC (Total Plate Count) setelah enkapsulasi selama 24 jam

Contoh perhitungan TPC (Total Plate Count) setelah enkapsulasi perlakuan 2% ulangan 1

$$\text{CFU/g} = \frac{N}{V \times D}$$

$$\text{CFU/g} = \frac{24}{0,1 \times 10^{-5}}$$

$$\text{CFU/g} = 2,4 \times 10^7$$

Sampel	Ulangan	Jumlah Koloni (N)	Volume yang ditanam (V)	Pengenceran (D)	CFU
2%	1	24	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,4 \times 10^7$
	2	23	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,3 \times 10^7$
	3	28	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,8 \times 10^7$
	4	25	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,5 \times 10^7$
	5	28	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,8 \times 10^7$
4%	1	27	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,7 \times 10^7$
	2	22	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,2 \times 10^7$
	3	29	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,9 \times 10^7$
	4	28	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,8 \times 10^7$
	5	23	0,1 ml	$10^{-5}$	$2,3 \times 10^7$
6%	1	39	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,9 \times 10^7$
	2	35	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,5 \times 10^7$
	3	38	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,8 \times 10^7$
	4	36	0,1 ml	$10^{-5}$	$3,6 \times 10^7$
	5	48	0,1 ml	$10^{-5}$	$4,8 \times 10^7$

**Lampiran 5. Uji produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada pembuatan roti**

No	Gambar	Keterangan
1.		Sampel adonan roti dimasukkan ke dalam jar fermentasi sebanyak 5 gram dan ditutup rapat
		Jar fermentasi berisikan adonan roti yang tertutup rapat dihubungkan ke gelas ukur melalui selang karet
		Gelas ukur diletakkan terbalik dalam beaker yang berisi air asam (pH 2,5)
		Seluruh rangkaian ditempatkan di water bath pada suhu 40°C

**Lampiran 6. Hasil pengaruh variasi konsentrasi natrium alginat terhadap produksi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) enkapsulasi khamir *Saccharomyces serevisiae* pada pembuatan roti**

a. Hasil pengukuran gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) enkapsulasi khamir

*Saccharomyces serevisiae* pada pembuatan roti

Menit ke	Perbandingan gas karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) antar perlakuan (v/mL)				
	2%	4%	6%	K (-)	K (+)
0	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
1	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
2	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
3	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
4	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
5	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
6	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
7	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
8	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
9	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
10	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
11	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
12	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
13	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
14	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
15	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
16	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
17	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
18	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
19	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
20	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
21	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
22	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
23	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
24	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
25	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
26	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
27	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
28	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
29	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL
30	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL	0 v/mL

- b. Hasil perhitungan volume adonan roti enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 5 gram selama 30 menit

Contoh perhitungan volume pengembangan adonan roti sebanyak 5 gram

$$\text{Volume} = \pi \times r^2 \times t$$

$$\text{Volume} = 3,14 \times 20,25 \times 1,1$$

$$= 69,94$$

Menit ke	Perbandingan volume adonan roti antar perlakuan (cm <sup>3</sup> )				
	2%	4%	6%	K (-)	K (+)
0	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
1	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
2	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
3	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
4	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
5	69,94	69,94	69,94	69,94	69,94
6	69,94	69,94	69,94	69,94	76,3
7	69,94	69,94	69,94	69,94	76,3
8	69,94	69,94	69,94	69,94	76,3
9	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
10	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
11	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
12	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
13	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
14	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
15	69,94	69,94	69,94	69,94	82,66
16	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
17	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
18	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
19	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
20	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
21	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
22	69,94	69,94	69,94	69,94	95,37
23	69,94	69,94	69,94	69,94	108,09
24	69,94	69,94	69,94	69,94	108,09
25	69,94	69,94	69,94	69,94	108,09
26	69,94	69,94	69,94	69,94	108,09
27	69,94	69,94	69,94	69,94	127,17
28	69,94	69,94	69,94	69,94	127,17
29	69,94	69,94	69,94	69,94	127,17
30	69,94	69,94	69,94	69,94	127,17

**Lampiran 7. Hasil pengaruh konsentrasi natrium alginat pada enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* terhadap kualitas roti**

- a. Hasil perhitungan volume pengembangan roti dan presentase daya kembang enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* selama 1440 menit

Contoh perhitungan volume pengembangan adonan dan presentase daya kembang

$$\text{Volume} = \pi \times r^2 \times t$$

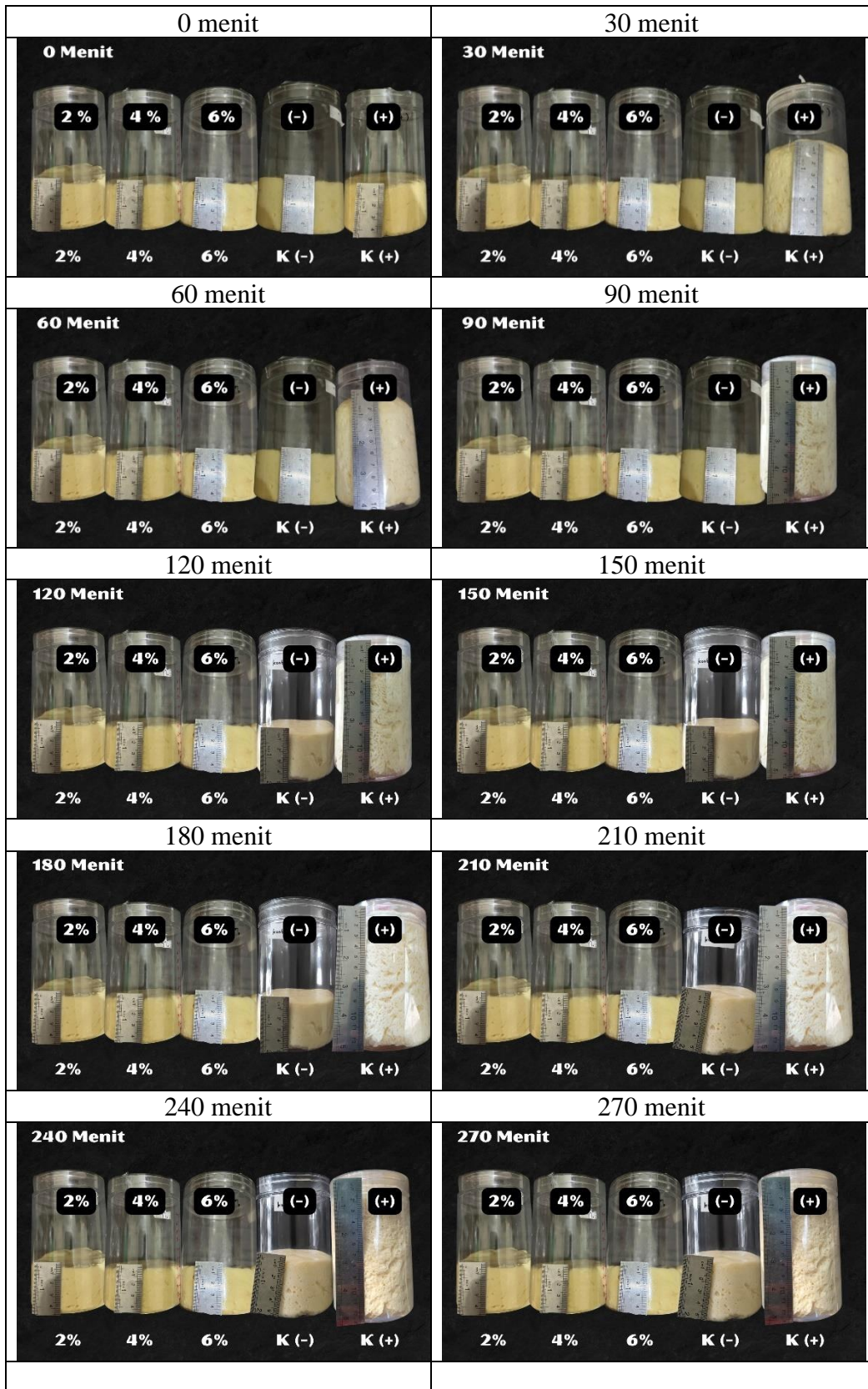
$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 3,14 \times 20,25 \times 4,5 \\ &= 286,13 \end{aligned}$$

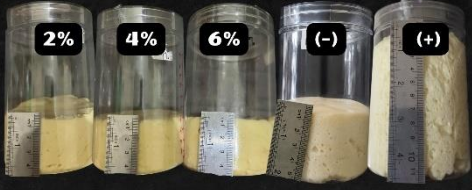

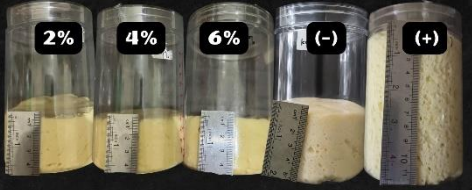
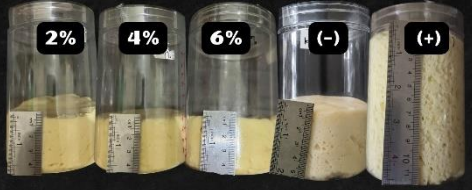
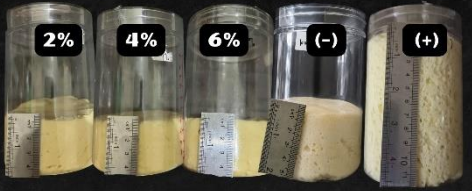

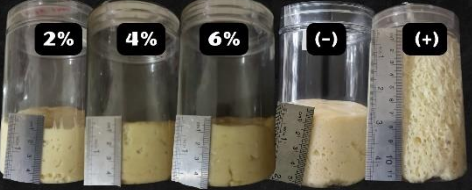
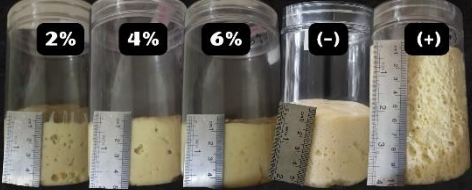
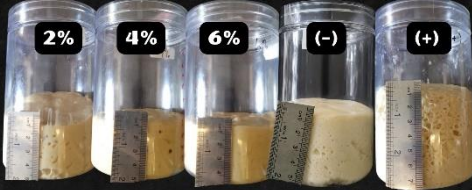
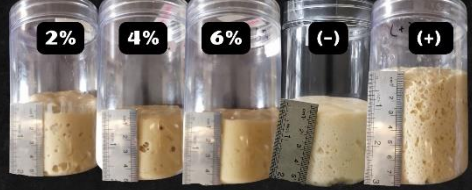
$$\begin{aligned} \% \text{ Daya kembang} &= \frac{\text{Volume akhir adonan} - \text{Volume adonan awal}}{\text{Volume adonan awal}} \times 100\% \\ &= \frac{502,32 - 286,13}{286,13} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Menit ke	Perbandingan bahan penyalut natrium alginat (cm <sup>3</sup> )				
	2%	4%	6%	K-	K+
0	286,13	286,13	286,13	286,13	286,13
30	286,13	286,13	286,13	286,13	476,88
60	286,13	286,13	286,13	286,13	635,85
90	286,13	286,13	286,13	286,13	864,75
120	286,13	286,13	286,13	298,84	864,75
150	286,13	286,13	286,13	298,84	864,75
180	286,13	286,13	286,13	298,84	826,6
210	286,13	286,13	286,13	330,64	826,6
240	286,13	286,13	286,13	330,64	826,6
270	286,13	286,13	286,13	330,64	826,6
300	286,13	286,13	286,13	330,64	756,66
330	286,13	286,13	286,13	330,64	763,02
360	286,13	286,13	286,13	330,64	763,02
390	286,13	286,13	286,13	330,64	763,02
420	286,13	286,13	286,13	330,64	763,02
450	292,49	298,84	286,13	330,64	737,58
480	292,49	298,84	286,13	330,64	737,58
510	305,2	305,2	292,49	330,64	635,85
540	311,56	311,56	292,49	330,64	445,09
570	324,28	311,56	298,84	330,64	476,88
600	343,35	317,92	311,56	330,64	572,26
630	349,71	317,92	311,56	330,64	635,85
660	349,71	317,92	311,56	330,64	635,85
690	381,51	317,92	317,92	330,64	667,64

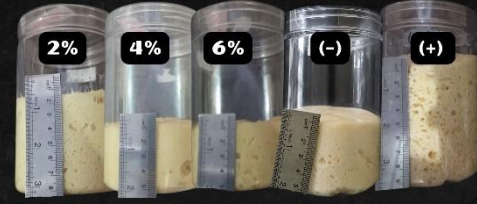

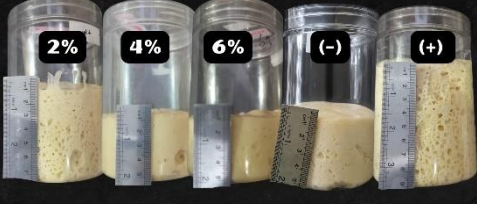
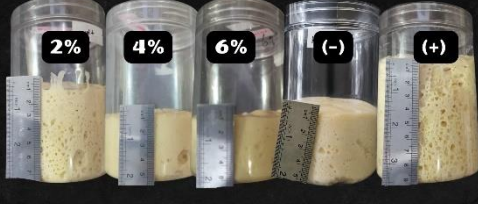
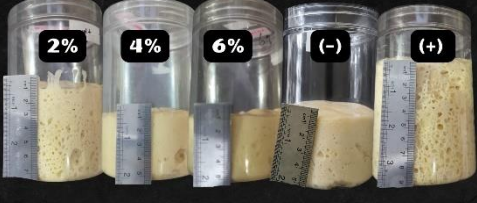
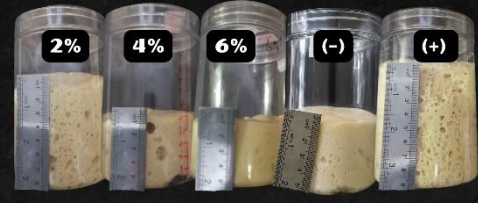
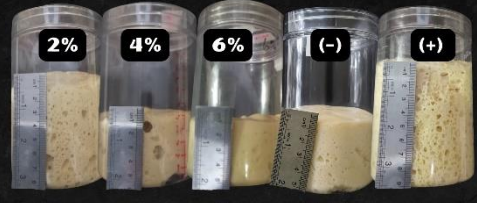
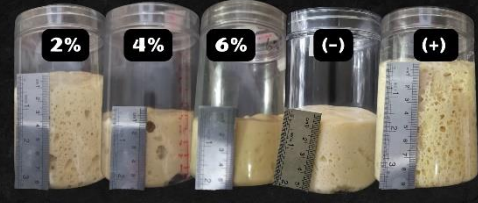
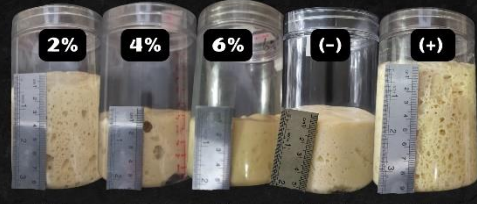

720	413,3	317,92	317,92	330,64	667,64
750	413,3	317,92	317,92	330,64	667,64
780	445,09	317,92	317,92	330,64	508,68
810	464,17	337	317,92	330,64	604,05
840	489,6	337	324,28	330,64	572,26
870	489,6	349,71	324,28	330,64	572,26
900	508,68	349,71	324,28	330,64	572,26
930	508,68	349,71	324,28	330,64	572,26
960	502,32	349,71	343,35	330,64	572,26
990	502,32	349,71	343,35	330,64	572,26
1020	502,32	349,71	343,35	330,64	572,26
1050	508,68	362,43	343,35	330,64	572,26
1080	508,68	362,43	343,35	330,64	572,26
1110	508,68	362,43	343,35	330,64	572,26
1140	508,68	362,43	343,35	330,64	572,26
1170	508,68	362,43	356,07	330,64	572,26
1200	508,68	362,43	356,07	330,64	572,26
1230	508,68	375,15	356,07	330,64	572,26
1260	521,39	375,15	356,07	330,64	572,26
1290	521,39	375,15	375,15	330,64	508,68
1320	521,39	400,58	375,15	330,64	508,68
1350	521,39	400,58	375,15	330,64	508,68
1380	521,39	400,58	375,15	330,64	508,68
1410	521,39	400,58	375,15	330,64	508,68
1440	521,39	400,58	375,15	330,64	508,68
Presentase	85%	40%	31%	15%	77%

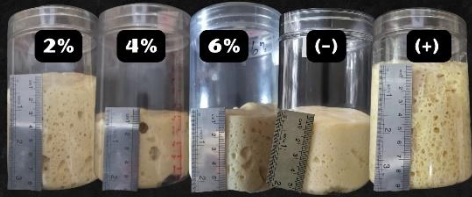

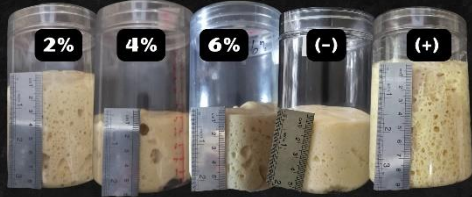

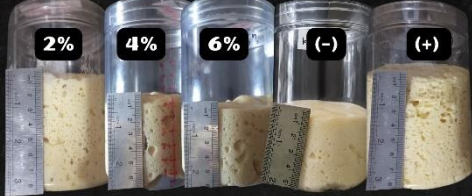
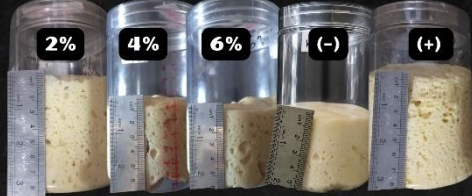
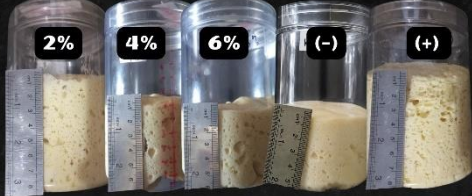
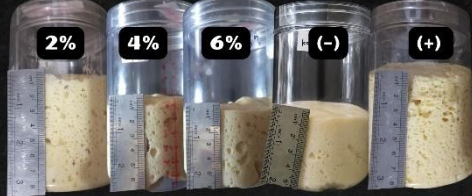
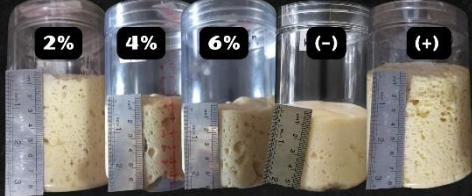
b. Dokumentasi volume pengembangan adonan roti enkapsulasi khamir *Saccharomyces cerevisiae*








<p>300 menit</p> <p><b>300 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>330 menit</p> <p><b>330 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>360 menit</p> <p><b>360 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>390 menit</p> <p><b>390 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>420 menit</p> <p><b>420 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>450 menit</p> <p><b>450 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>480 menit</p> <p><b>480 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>510 menit</p> <p><b>510 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>540 menit</p> <p><b>540 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>570 menit</p> <p><b>570 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>

<p style="text-align: center;">600 menit</p> <p><b>600 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>	<p style="text-align: center;">630 menit</p> <p><b>630 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>
<p style="text-align: center;">660 menit</p> <p><b>660 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>	<p style="text-align: center;">690 menit</p> <p><b>690 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>
<p style="text-align: center;">720 menit</p> <p><b>720 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>	<p style="text-align: center;">750 menit</p> <p><b>750 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>
<p style="text-align: center;">780 menit</p> <p><b>780 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>	<p style="text-align: center;">810 menit</p> <p><b>810 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>
<p style="text-align: center;">840 menit</p> <p><b>840 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>	<p style="text-align: center;">870 menit</p> <p><b>870 Menit</b></p> <p style="text-align: center;">2%   4%   6%   K (-)   K (+)</p>





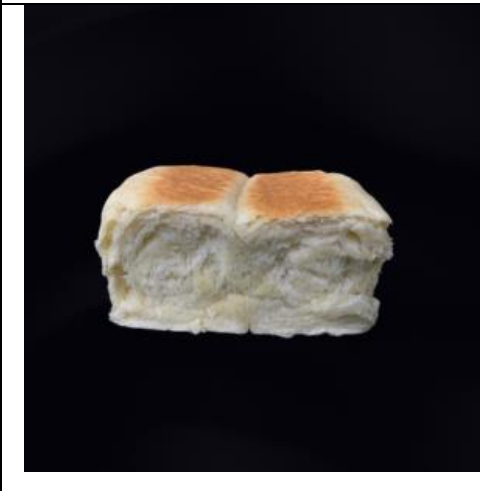
<p>900 menit</p> <p><b>900 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>930 menit</p> <p><b>930 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>960 menit</p> <p><b>960 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>990 menit</p> <p><b>990 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1020 menit</p> <p><b>1020 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1050 menit</p> <p><b>1050 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1080 menit</p> <p><b>1080 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1110 menit</p> <p><b>1110 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1140 menit</p> <p><b>1140 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1170 menit</p> <p><b>1170 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>

<p>1200 menit</p> <p><b>1200 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1230 menit</p> <p><b>1230 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1260 menit</p> <p><b>1260 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1290 menit</p> <p><b>1290 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1320 menit</p> <p><b>1320 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1350 menit</p> <p><b>1350 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1380 menit</p> <p><b>1380 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	<p>1410 menit</p> <p><b>1410 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>
<p>1440 menit</p> <p><b>1440 Menit</b></p>  <p>2% 4% 6% K (-) K (+)</p>	

- c. Warna permukaan roti setelah dipanggang pada perlakuan konsentrasi bahan penyalut

Perlakuan 2%	Perlakuan 4%
	
Perlakuan 6%	Perlakuan K-
	
Perlakuan K+	
	

d. Warna permukaan roti setelah dipanggang pada perlakuan konsentrasi bahan penyalut

Perlakuan 2%	Perlakuan 4%
	
Perlakuan 6%	Perlakuan K-
	
Perlakuan K+	
	

e. Hasil uji *Kruskal Wallis***Test Statistics<sup>a,b</sup>**

	Rasa	Aroma	Warna	Tekstur
Kruskal-Wallis H	21.732	22.550	27.325	32.982
df	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.000	.000	.000	.000

f. Hasil uji lanjut *Mann Whitney*

## Parameter Warna

A1=A2	A2=A3	A3≠K-	K-≠K+
A1=A3	A2=K-	A3=K+	
A1≠K-	A2=K+		
A1=K+			

## Parameter Aroma

A1=A2	A2=A3	A3=K-	K-≠K+
A1≠A3	A2≠K-	A3=K+	
A1≠K-	A2=K+		
A1=K+			

## Parameter Rasa

A1=A2	A2≠A3	A3=K-	K-≠K+
A1≠A3	A2≠K-	A3=K+	
A1≠K-	A2=K+		
A1=K+			

## Parameter Tekstur

A1=A2	A2=A3	A3≠K-	K-≠K+
A1=A3	A2≠K-	A3=K+	
A1≠K-	A2=K+		
A1=K+			



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533  
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: [info@uin-malang.ac.id](mailto:info@uin-malang.ac.id)

### JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

#### IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220602110032  
Nama : PUTRI SETYOWATI  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jurusan : BIOLOGI  
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si  
Dosen Pembimbing 2 : Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag  
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : PENGARUH ENKAPSULASI KHAMIR *Saccharomyces cerevisiae* DENGAN KONSENTRASI NATRIUM ALGINAT TERHADAP KUALITAS ROTI

#### IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	10 September 2025	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	Konsultasi Topik Skripsi	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	18 September 2025	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	Presentasi Jurnal Acuan	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	10 Oktober 2025	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	Presentasi Proposal Skripsi	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	13 Oktober 2025	Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag	Bimbingan integrasi BAB 1	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	04 November 2025	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	Revisi Proposal Skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	12 November 2025	Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag	Bimbingan integrasi bab 1 dan 2	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	12 November 2025	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	ACC Proposal Skripsi Bab 1 sampai 3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	18 Mei 2026	Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag	Bimbingan Integrasi hasil penelitian BAB 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	19 Mei 2026	Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag	Acc integrasi agama bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	20 Mei 2026	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	Bimbingan Hasil Penelitian BAB 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	25 Mei 2026	Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si	ACC Revisi BAB 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui  
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Prof. Dr. H. MUNIRUL ABIDIN, M.Ag

Malang, \_\_\_\_\_

Dosen Pembimbing 1

Prof. Dr. Hj. ULFAH UTAMI, M.Si





**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**PROGRAM STUDI BIOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933  
 Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: [biologi@uin-malang.ac.id](mailto:biologi@uin-malang.ac.id)

**Form Checklist Plagiasi**

**Nama** : Putri Setyowati  
**NIM** : 220602110032  
**Judul** : Pengaruh Enkapsulasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae* dengan Variasi Konsentrasi Natrium Alginat Terhadap Kualitas Roti

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc	18 %.	

Mengetahui,  
 Ketua Program Studi Biologi

**Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si**  
 NIP. 19671113 199402 2 001