

**OPTIMASI PEMBUATAN *CARBOXYMETHYL CELLULOSE*
(CMC) DARI JERAMI PADI (*Oryza sativa* L.) VARIETAS
CIHERANG DENGAN VARIASI KONSENTRASI NATRIUM
MONOKLOROASETAT DAN WAKTU REAKSI**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pangan pada
Jurusan Teknologi Pangan**



NINA HANDAYANI

NIM : 4444190008

**JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2025**

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nina Handayani

NIM : 4444190008

Menyatakan bahwa hasil penelitian saya berjudul :

**OPTIMASI PEMBUATAN *CARBOXYMETHYL CELLULOSE* (CMC) DARI
JERAMI PADI (*Oryza sativa* L.) VARIETAS CIHERANG DENGAN
VARIASI KONSENTRASI NATRIUM MONOKLOROASETAT DAN
WAKTU REAKSI**

adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil jiplakan. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa hasil penelitian saya merupakan jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan hukum yang berlaku.

Serang, Januari 2025

Yang Menyatakan,



Nina Handayani

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : OPTIMASI PEMBUATAN *CARBOXYMETHYL CELLULOSE* (CMC)
DARI JERAMI PADI (*Oryza sativa* L.) VARIETAS CIHERANG
DENGAN VARIASI KONSENTRASI NATRIUM
MONOKLOROASETAT DAN WAKTU REAKSI

Oleh : NINA HANDAYANI

NIM : 4444190008

Serang, Januari 2025

Menyetujui dan Mengesahkan :

Dosen Pembimbing I,



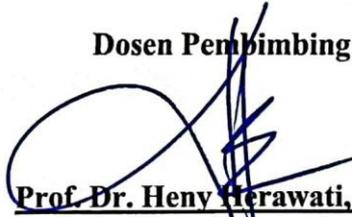
Dr. Mohamad Ana Syabana, S.Si., M.Si.
NIP. 198206072006041003

Dosen Pembimbing II,



Zulfatun Najah, S.TP., M.Si.
NIP. 198706012022032006

Dosen Pembimbing III,



Prof. Dr. Heny Herawati, S.TP., M.T.
NIP. 197803032001122001



Dr. Ririn Iriawati, S.Pi., M.Si.
NIP. 198309112009122005

Ketua Jurusan,



Zulfatun Najah, S.TP., M.Si.
NIP. 198706012022032006

Tanggal Sidang : 10 Desember 2024

Tanggal Lulus : 10 DEC 2024

ABSTRACT

Straw is a material that contains cellulose, which can be used to produce CMC (Carboxymethyl Cellulose). The Ciherang rice variety contains 31.37% cellulose; 18.14% hemicellulose; and 7.93% lignin. The high cellulose content in Ciherang straw presents a good opportunity for its use in CMC production. Optimal conditions can be determined using a statistical analysis method known as Response Surface Methodology (RSM). The aim of this research to identify the optimal formula of sodium monochloroacetate variations and reaction time on the physicochemical characteristics of rice straw CMC. This study was designed using the RSM optimization method, specifically Central Composite Design (CCD) in Design Expert software, with variations in sodium monochloroacetate concentration (2, 3, 4, 5, 6, 7, and 8 grams) and reaction time (1, 2, and 3 hours). The results indicated that the optimum conditions for producing CMC from straw were achieved with a sodium monochloroacetate (NaMCA) concentration of 4.402 grams and a reaction time of 3 hours. The optimal formula obtained a desirability level of 0,58. The analysis of the optimum formula resulted a yield 25,31%; a pH of 7,58, a water content of 4,12%; a whiteness of 74,23%; a viscosity of 6,8 cP; a purity of 94,09%; and a NaCl content of 5,91%. There is a significant influence (P-value < 0.05) of variations in sodium monochloroacetate and reaction time on the yield and pH values. However, there is no significant influence on the water content, whiteness, viscosity, purity, or NaCl content.

Keywords : Straw, CMC, sodium monochloroacetate, reaction time.

RINGKASAN

HANDAYANI, 2025. Optimasi Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Jerami Padi (*Oryza sativa* L.) Varietas Ciherang dengan Variasi Konsentrasi Natrium Monokloroasetat dan Waktu Reaksi, dibimbing oleh Mohamad Ana Syabana, Zulfatun Najah, dan Heny Herawati.

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman yang memiliki arti penting bagi hampir seluruh penduduk Indonesia, karena padi mampu memenuhi kebutuhan kalori sebagian besar penduduk Indonesia. Peningkatan produksi padi juga diikuti dengan peningkatan limbah jerami padi. Padi varietas Ciherang, kandungan selulosa yaitu sebesar 31,37%; hemiselulosa 18,14%; dan lignin 7,93%. Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada jerami padi varietas Ciherang, memiliki peluang yang baik untuk dimanfaatkan dalam pembuatan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*). Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui formula optimal variasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi terhadap karakteristik fisikokimia CMC jerami padi.

Penelitian ini terdiri dari 2 variabel yaitu konsentrasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi dengan batas natrium monokloroasetat 2-8 gram, dan waktu reaksi selama 1-3 jam. Penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Method* (RSM), dengan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD) pada *software Design Expert 13* (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA), menggunakan 5 *center point* dan menghasilkan 13 perlakuan percobaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum proses pembuatan CMC dari jerami padi diperoleh dengan konsentrasi natrium monokloroasetat (NaMCA) 4,402 gram dan waktu reaksi 3 jam. Formula optimum yang diperoleh memiliki nilai *desirability* 0,58. Hasil respon optimal diperoleh rendemen sebesar 25,31%, pH sebesar 7,58, kadar air sebesar 4,12%, derajat putih sebesar 74,23%, viskositas sebesar 6,8 cP, kemurnian sebesar 94,09% dan kadar NaCl sebesar 5,91%. Terdapat pengaruh nyata dengan signifikansi ($P\text{-value} < 0,05$) dari variasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi terhadap nilai rendemen dan pH, namun tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl.

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Serang pada tanggal 3 Januari 2002, merupakan putri tunggal dari ayah Sumardi dan ibu Titin Hasanah. Pendidikan formal pertama kali ditempuh pada tahun 2007 di SD Negeri Taman, tamat pada tahun 2013. Pada tahun yang sama melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kibin hingga tahun 2016 dan kembali melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Ciruas hingga tahun 2019. Pada Tahun 2019, penulis lolos Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Selama perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Analisis Sensori. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa di kampus. Penulis merupakan Staf Biro Keilmuan Lembaga Semi Otonom Himpunan Mahasiswa Teknologi Pangan (LSO HIMAGIPAN) periode 2020-2021. Bendahara Khusus Lembaga Semi Otonom Himpunan Mahasiswa Teknologi Pangan (LSO HIMAGIPAN) pada periode 2021-2022, dan Bendahara Khusus Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Pertanian (BEM FAPERTA) periode 2022-2023. Penulis memiliki pengalaman magang pada PT. Agrobisnis Banten Mandiri, dan PT. Abi Nisa Sejahtera. Penulis juga mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Mahasiswa (KKM) di Desa Bulakan Kecamatan Cinangka Banten, serta mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Profesi (KKP) di LPPOM MUI Banten.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Jerami Padi (*Oryza sativa* L.) Varietas Ciherang dengan Variasi Konsentrasi Natrium Monokloroasetat dan Waktu Reaksi”. terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, serta keluarga yang sudah memberikan banyak dukungan baik moril maupun material serta do'a yang tak pernah putus kepada penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan lancar.
2. Dr. Mohamad Ana Syabana, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memotivasi, membagi ilmu serta saran dan arahan yang diberikan selama penulisan skripsi ini.
3. Zulfatun Najah, S.TP., M.Si, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memotivasi, membagi ilmu serta saran dan arahan yang diberikan selama penulisan skripsi ini.
4. Prof. Dr. Heny Herawati, S.TP., M.T, selaku Dosen Pembimbing III yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memotivasi, membagi ilmu serta saran dan arahan yang diberikan selama penulisan skripsi ini.
5. Puji Wulandari, S.TP., M.Sc, selaku Dosen Penelaah yang telah memberikan saran, dan masukan, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penulisan skripsi ini.
6. Vega Yoesepa Pamela, ST., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu, saran, dan arahan, serta motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
7. Zulfatun Najah, S.T.P., M.Si, selaku Ketua Jurusan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Kepala laboratorium, peneliti, laboran, staf dan seluruh jajaran yang berada di Pusat Riset Agroindustri, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

PUSPIPTEK Serpong yang telah memberikan bantuan, tenaga, dan motivasi selama melaksanakan penelitian di BRIN.

9. Seluruh dosen Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmu serta pengetahuan yang bermanfaat kepada penulis selama penulis menempuh perkuliahan di Jurusan Teknologi Pangan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
10. Adi Prayitno, Nopitasari, Annisa Gusti Pratiwi, Fitriyani, yang selalu menemani segala proses, mendengarkan keluh kesah, memberikan motivasi, pengingat, dan membantu penulis dari awal perkuliahan hingga terselesainya skripsi ini.
11. Ratu Lisa Septiani, Jauhara Zahran Rania, dan Mergana Briliani, yang telah membantu selama penelitian, serta memberikan dukungan hingga dapat menyelesaikan penelitian ini.
12. Teman-teman seperjuangan Teknologi Pangan angkatan 2019 yang sudah memberikan semangat, dan dukungan.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membaca atau membutuhkannya. Akhir kata penulis sampaikan terima kasih.

Serang, Januari 2025

Nina Handayani

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kerangka Teoritis.....	5
2.1.1 Jerami Padi.....	5
2.1.2 Hidrokoloid	6
2.1.3 <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC)	8
2.1.4 Proses Pembuatan CMC.....	10
2.1.5 <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	13
2.2 Penelitian Terdahulu	17
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis, Lokasi, dan Waktu Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan.....	20
3.3 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	20
3.3.1 Rancangan Model Penelitian.....	20
3.3.2 Rancangan Perlakuan	21
3.3.3 Rancangan Respon.....	23
3.3.4 Pelaksanaan Penelitian	23
3.3.5 Metode Pengujian	28
3.3.6 Pengolahan Data	31
3.3.7 Analisis Sampel Terbaik	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Faktor.....	33
4.2 Analisis Respon.....	34
4.2.1 Analisis Respon Rendemen	37
4.2.2 Analisis Respon Derajat Keasaman (pH).....	39
4.2.3 Analisis Respon Kadar Air	42
4.2.4 Analisis Respon Derajat Putih	44
4.2.5 Analisis Respon Viskositas	48
4.2.6 Analisis Respon Kemurnian.....	50
4.2.7 Analisis Respon Kadar NaCl	53
4.3 Optimasi Formula.....	55
4.4 Verifikasi Formula.....	57
4.5 Analisis Sampel Terbaik.....	58

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan	63
5.2 Saran.....	63

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jenis hidrokoloid dan metode ekstraksi yang digunakan.....	8
Tabel 2. Syarat mutu natrium karboksimetil selulosa teknis	10
Tabel 3. Hasil penelitian terdahulu	17
Tabel 4. Batas setiap variabel.....	21
Tabel 5. Rancangan perlakuan optimasi	21
Tabel 6. Rekapitulasi data pengukuran respon	34
Tabel 7. Hasil analisis model respon	36
Tabel 8. Kriteria respon yang dioptimasi	56
Tabel 9. Verifikasi formula optimal.....	57
Tabel 10. Perbandingan nilai bilangan gelombang sampel terpilih dan kontrol	59

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.	Jerami padi	5
Gambar 2.	Struktur CMC.....	9
Gambar 3.	Mekanisme reaksi alkalisasi	11
Gambar 4.	Mekanisme reaksi karboksimetilasi	12
Gambar 5.	Diagram alir pelaksanaan penelitian	25
Gambar 6.	Diagram alir persiapan sampel bubuk jerami.....	26
Gambar 7.	Diagram alir ekstraksi selulosa jerami	27
Gambar 8.	Diagram alir pembuatan CMC jerami.....	28
Gambar 9.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon rendemen.....	37
Gambar 10.	Respon rendemen (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	38
Gambar 11.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon pH.....	40
Gambar 12.	Respon pH (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	41
Gambar 13.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon kadar air	42
Gambar 14.	Respon kadar air(a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	43
Gambar 15.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon derajat putih	45
Gambar 16.	Respon derajat putih (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	46
Gambar 17.	CMC hasil penelitian (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6, (g) R7, (h) R8, (i) R9, (j) R10, (k) R11, (l) R12, (m) R13	47
Gambar 18.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon viskositas.....	48
Gambar 19.	Respon viskositas (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	49
Gambar 20.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon kemurnian	51
Gambar 21.	Respon kemurnian (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	52
Gambar 22.	Kurva <i>normal plot of residuals</i> respon kadar NaCl	53
Gambar 23.	Respon kadar NaCl (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D <i>Surface</i>	54

Gambar 24.	Spektrum FTIR CMC (a) Sampel komersil, (b) Sampel R5, dan (c) Sampel R2	60
Gambar 25.	CMC jerami (a) Sampel R5, (b) Sampel R2, (c) Sampel komersil perbesaran 500x	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil uji sidik ragam (ANOVA) respon pengamatan....	73
Lampiran 2. Grafik interaksi setiap faktor terhadap respon.....	76
Lampiran 3. Teladan perhitungan berbagai pengamatan	78
Lampiran 4. Dokumentasi kegiatan penelitian.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman yang memiliki arti penting bagi hampir seluruh penduduk Indonesia, karena padi mampu memenuhi kebutuhan kalori sebagian besar penduduk Indonesia. Semakin bertambahnya jumlah penduduk, maka kebutuhan padi juga semakin meningkat (Kurniawan *et al.*, 2022). Total produksi padi di Indonesia pada tahun 2020 sekitar 54,65 juta ton, meningkat 45,17 ribu ton (0,08%) dibandingkan tahun 2019. Dibandingkan dengan bulan yang sama pada tahun-tahun lainnya, peningkatan produksi yang tertinggi terjadi pada bulan Mei tahun 2020, meningkat 1,86 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2021).

Peningkatan produksi padi juga diikuti dengan peningkatan limbah jerami padi. Setiap kali panen, satu hektar sawah mampu menghasilkan 10 sampai 12 ton jerami (BPTP Sulawesi Selatan, 2013). Salah satu varietas padi yang banyak ditanam adalah Ciherang. Hal ini didasari karena varietas Ciherang mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitar. Tinggi tanaman berkaitan dengan kemampuan padi dalam menangkap cahaya matahari yang baik. Jerami padi varietas Ciherang mampu menangkap cahaya matahari dengan baik (Akbar *et al.*, 2022). Kemudian, bobot gabah varietas Ciherang lebih berat dan nasi yang dihasilkan juga lebih pulen (Marlina *et al.*, 2017). Selain itu juga, varietas Ciherang memiliki umur padi yang pendek sekitar 116-125 hari dengan tinggi tanaman 107-115 cm, tidak mudah rontok, tahan terhadap hama (wereng, batang coklat biotipe 2), tahan terhadap penyakit, dan dapat ditanam pada musim penghujan serta kemarau dibawah 500 mdpl (Jamil *et al.*, 2016). Jerami padi varietas Ciherang, memiliki kandungan selulosa yaitu sebesar 31,37%; hemiselulosa 18,14%; dan lignin 7,93% (Kodri *et al.*, 2013). Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada jerami padi, memiliki peluang yang baik untuk dimanfaatkan dalam berbagai macam industri. Salah satu produk turunan dari selulosa adalah karboksimetil selulosa (Nur *et al.*, 2016).

CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) merupakan golongan dari hidrokoloid yang banyak digunakan dalam bidang pangan maupun non pangan. Hidrokoloid

merupakan komponen polimer yang mengandung gugus hidroksil. Komponen polimer ini dapat larut dalam air, mampu membentuk koloid, dan dapat mengentalkan atau membentuk gel pada suatu larutan (Herawati, 2018). Hidrokoloid dari CMC banyak digunakan pada berbagai industri, seperti industri makanan, farmasi, produk kosmetik, kimia, perminyakan, pembuatan kertas, dan bangunan (Wijayani *et al.*, 2005). Pada bidang pangan, CMC dimanfaatkan sebagai *stabilizer*, *thickener*, *adhesive*, dan *emulsifier*. Contoh aplikasinya adalah pada pemrosesan selai, es krim, minuman, saus dan sirup. Pemanfaatannya yang sangat luas, mudah digunakan serta harganya yang murah, menjadikan CMC sebagai salah satu hidrokoloid yang diminati (Basmal *et al.*, 2005).

Proses pembuatan CMC meliputi beberapa tahapan yaitu proses alkalisasi, karboksimetilasi, penetralan, pencucian dan pengeringan. Tahap alkalisasi dan karboksimetilasi adalah tahapan utama yang menentukan karakteristik dari CMC (Safitri *et al.*, 2017). Alkalisasi dilakukan sebelum karboksimetilasi dengan menggunakan NaOH. Proses ini bertujuan untuk mengaktifkan gugus-gugus OH pada molekul selulosa (Wijayani *et al.*, 2005). Proses karboksimetilasi dapat dilakukan dengan menggunakan reagen natrium monokloroasetat. Pada proses ini, gugus -OH pada selulosa digantikan oleh $\text{ClCH}_2\text{COONa}$ (Pitaloka *et al.*, 2015). Tahap karboksimetilasi bertujuan untuk melekatkan gugus karboksilat pada struktur selulosa. Gugus karboksilat yang dimaksud terdapat pada natrium monokloroasetat (Ayuningtiyas *et al.*, 2017).

Jumlah natrium monokloroasetat yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi dari unit anhidroglukosa pada selulosa (Wijayani *et al.*, 2005). Berdasarkan hasil penelitian Mugrma (2019), sintesis CMC dari selulosa dengan penggunaan 2 gram NaMCA, menghasilkan rendemen sebesar 200,68%; viskositas 300 cP; pH 7,8; derajat substitusi 0,4; dan kelembapan 2,73%. Selanjutnya Hariani *et al.* (2019) menambahkan pada pembuatan CMC dari selulosa pelepah kelapa sawit dengan penggunaan 8 gram NaMCA, menunjukkan CMC dengan kondisi optimum memiliki nilai derajat substitusi sebesar 0,81; viskositas 5,72 cP; pH 7,67; dan kemurnian 99,56%.

Waktu reaksi yang semakin lama memungkinkan jarak antar gugus semakin lebar dan semakin melemahkan ikatan sehingga ikatan akan terputus. Hal ini dapat

menyebabkan substitusi yang diinginkan tidak terjadi (Nisa dan Putri, 2014). Berdasarkan hasil penelitian Nisa dan Putri (2014), waktu reaksi 1 jam pada pembuatan CMC dari kulit buah kakao, menghasilkan CMC terbaik dengan derajat substitusi 0,10; pH 7,86; viskositas 6,33 cP; kadar air 13,51%; dan kecerahan 79,43%. Silsia *et al.* (2018) menambahkan waktu reaksi 3 jam pada pembuatan CMC dari pelepah kelapa sawit, menghasilkan CMC terbaik dengan karakteristik derajat substitusi 0,75; pH 8,32; kadar air 7,1%; viskositas 7,8 cP; dan kemurnian 92,62%.

Penentuan kondisi optimal dilakukan dengan menggunakan metode analisis statistik yaitu *Response Surface Methodology* (RSM). Metode RSM merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 2009). Keunggulan metode RSM ini diantaranya tidak memerlukan data-data percobaan dalam jumlah yang besar dan tidak membutuhkan waktu lama (Iriawan dan Astuti, 2006). *Central Composite Design* (CCD) pada RSM adalah desain faktorial fraksial dengan poin pusat, ditambah dengan sekelompok poin aksial yang memungkinkan untuk memperkirakan arah optimal karena dalam RSM optimasi dan lokasi optimal tidak diketahui. Dari masalah diatas, perlu dilakukan penelitian untuk menentukan formula optimal pembuatan CMC dengan menggunakan program *Design Expert versi 13.0* dengan metode *Central Composite Design* (CCD).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana formula optimal CMC berdasarkan variasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah agar penelitian ini tidak melebar dan tetap terfokus, adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh faktor yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi konsentrasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi
2. Parameter pengujian dilakukan terhadap karakteristik rendemen, derajat keasaman (pH), kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui formula optimal variasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi terhadap karakteristik fisikokimia CMC jerami padi.

1.5 Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini yaitu variasi natrium monokloroasetat dan waktu reaksi menghasilkan formula optimal pada karakteristik fisikokimia CMC jerami padi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerangka Teoritis

2.1.1 Jerami Padi

Jerami adalah bagian batang tumbuhan yang setelah dipanen bulir-bulir buahnya, baik bersama tangkainya atau tidak, dikurangi dengan akar dan sisa batang yang disayat dan masih tegak di permukaan tanah. Produksi jerami padi bervariasi yaitu dapat mencapai 12-15 ton per hektar satu kali panen, atau 4-5 ton bahan kering tergantung pada lokasi dan jenis varietas tanaman yang digunakan. Jerami padi dihasilkan 1-2 kali di daerah kering, sebagian petani masih membiarkannya bertumpuk pada lahan sawah sampai datangnya musim tanam kembali. Jerami padi melimpah selama musim hujan, namun langka pada musim kemarau. Jumlah limbah jerami cukup besar dan belum sepenuhnya dimanfaatkan (Widyaiswara Balai Besar Pelatihan Peternakan Batu, 2016).



Gambar 1. Jerami Padi (Dokumentasi Pribadi)

Jerami merupakan bagian vegetatif dari tanaman padi (batang, daun, dan tangkai malai). Pada waktu tanaman dipanen, jerami adalah bagian tanaman yang tidak diambil. Bobot jerami padi bergantung pada ketersediaan air, varietas, nisbah gabah/jerami, cara budidaya, kesuburan tanah, musim, iklim dan ketinggian tempat. Jerami terdiri atas daun, pelepah daun, ruas atau buku. Ketiga unsur ini relatif kuat karena mengandung silika dan selulosa yang tinggi sehingga pelapukannya memerlukan waktu. Namun, jika diberi perlakuan tertentu akan mempercepat terjadi perubahan strukturnya (Makarim, 2007).

Jerami termasuk dalam golongan kayu lunak dengan kandungan utama lignoselulosa yang mempunyai 3 komponen yaitu hemiselulosa (20-35%), lignin (10-25%), dan selulosa (35-50%). Kandungan selulosa yang tinggi pada jerami padi, maka jerami padi dipilih menjadi salah satu limbah yang cukup menjanjikan (Zhu *et al.*, 2005). Bagian-bagian jerami yang telah dirontokkan gabahnya terdiri dari (Novia *et al.*, 2014):

1. Batang (lidi jerami)

Bagian batang jerami kurang lebih sebesar lidi kelapa dengan rongga udara memanjang di dalamnya.

2. Ranting jerami

Ranting jerami merupakan tempat dimana butiran butiran menempel. Ranting jerami ini lebih kecil, seperti rambut yang bercabang-cabang. Meskipun demikian, ranting jerami mempunyai tekstur yang kasar dan kuat.

3. Selongsong jerami

Selongsong jerami adalah pangkal daun pada jerami yang membungkus batang atau lidi jerami.

2.1.2 Hidrokoloid

Hidrokoloid merupakan komponen yang mengandung gugus hidroksil. Komponen polimer ini dapat larut dalam air, mampu membentuk koloid, dan dapat mengentalkan atau membentuk gel dari suatu larutan. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, hidrokoloid dimanfaatkan sebagai pembentuk gel, pengental, pengemulsi, perekat, penstabil, dan pembentuk lapisan film. Hidrokoloid dapat dikelompokkan berdasarkan sumber bahan baku, yaitu hidrokoloid yang dapat diperoleh secara alami dari alam, hidrokoloid termodifikasi, dan hidrokoloid sintesis (Herawati, 2018). Hidrokoloid dapat diperoleh dari tanaman. Beberapa bagian tanaman yang dapat dimanfaatkan diantaranya biji, buah, akar, dan ekstrudat tanaman maupun *pulp* (Funami, 2011).

Hidrokoloid dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang berfungsi memperbaiki kualitas produk pangan. Hal ini terkait dengan kemampuan hidrokoloid menyerap air dengan mudah dan membentuk gel. Kemampuan tersebut juga dapat dimanfaatkan dan diimplementasikan dalam pembuatan produk non

pangan, di antaranya produk farmasi, pelapis yang dapat dimakan (*edible film*), bioplastik, dan bahan perekat (Herawati, 2018).

Hidrokoloid umumnya mampu membentuk gel dalam air dan bersifat *reversible*, yaitu meleleh jika dipanaskan dan membentuk gel kembali jika didinginkan. Proses pemanasan dengan suhu yang lebih tinggi dari suhu pembentukan gel mengakibatkan polimer dalam larutan menjadi *random coil* (acak) (Funami, 2011). Sifat hidrokoloid yang mudah menyerap air, menyebabkan sifat fungsional yang dapat membantu memperbaiki mutu produk pangan. Pengaplikasian pada produk mie misalnya, hidrokoloid berupa *guar gum*, natrium alginat, dan *xanthan gum* berperan membentuk sifat fungsional pengental produk dengan elastisitas yang tinggi (Herawati, 2018).

Metode ekstraksi terus diteliti dan dikembangkan untuk menghasilkan hidrokoloid dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Teknologi ekstraksi secara fisik dapat dilakukan melalui proses penghancuran, penyaringan bertingkat, dan pemurnian dengan cara sonikasi. Secara kimiawi, ekstraksi dapat menggunakan beberapa jenis bahan kimia seperti H_2SO_4 , HCl , $NaOH$, Na_2CO_3 dan lainnya. Kombinasi perlakuan antara fisik dan kimiawi maupun biokimia dimungkinkan untuk dapat menghasilkan produk yang optimal (Herawati, 2018). Beberapa metode ekstraksi hidrokoloid dapat dilihat pada Tabel 1.

Selulosa adalah zat penyusun tanaman yang terdapat pada struktur sel. Kadar selulosa dan hemiselulosa pada tanaman pakan yang muda mencapai 40% dari bahan kering. Bila tanaman semakin tua, proporsi selulosa dan hemiselulosa semakin bertambah. Lapisan matriks pada tanaman muda terdiri dari selulosa dan hemiselulosa. Tetapi, pada tanaman tua matriks pada tanaman dilapisi dengan lignin dan senyawa polisakarida lain. Selulosa tidak dapat dicerna oleh hewan non ruminansia kecuali non ruminansia herbivora yang mempunyai mikroba pencernaan selulosa dan sekumnya. Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman dari bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Kandungan selulosa dalam bahan berkayu ini dapat mencapai 30-45% bahkan dapat mencapai 70-90% pada kapas. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear, tidak bercabang dan tersusun atas 10.000 sampai 15.000 unit glukosa yang diikat oleh β -1,4 glikosida

membentuk selobiosa. Berdasarkan derajat polimerasi dan kelarutan dalam senyawa basa, selulosa β (*beta cellulose*) dapat larut dalam larutan NaOH atau basa kuat dengan derajat polimerasi 15-90, serta dapat mengendap bila dinetralkan (Mustabi, 2023).

Tabel 1. Jenis hidrokoloid dan metode ekstraksi yang digunakan

Jenis	Metode Ekstraksi	Sumber
Glukomanan	Sonikasi	Lin dan Huang (2008)
Agar	Kimiawi (H_2SO_4)	Widyatusti (2009)
Pektin	Kimiawi (HCl)	Putra (2010)
Selulosa	Kimiawi (NaOH)	Hutomo <i>et al.</i> , (2012)
Gum	Kombinasi suhu dan kimiawi (HCl dan NaOH)	Razafi <i>et al.</i> , (2009)
Natrium Alginat	Kombinasi suhu dan kimiawi (Na_2CO_3)	Viswanathan dan Nallamuthu (2014),
	Kombinasi ekstrusi dan alkali (NaOH)	Vauchel <i>et al.</i> , (2008),
	Kombinasi microwave dan kimiawi	Chattbar <i>et al.</i> , (2009)
Karagenan	Kombinasi suhu dan kimiawi (NaOH)	Fathmawati <i>et al.</i> , (2014)
Kitosan	Kombinasi enzimatis dan alkali	Hamed <i>et al.</i> , (2016)

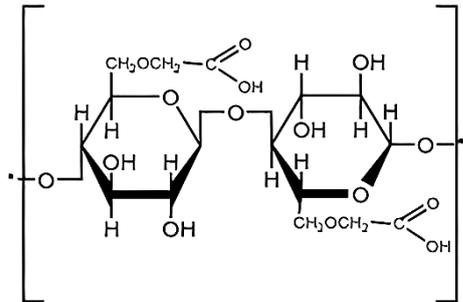
Sumber : Herawati (2018)

2.1.3 Carboxymethyl Cellulose (CMC)

Carboxymethyl Cellulose (CMC) merupakan salah satu turunan selulosa yang memiliki sifat transparan, tidak berwarna, tidak beracun, larut air pada pH 6,5-8,0, stabil pada pH 2-10, tidak larut dalam pelarut organik, dapat bereaksi dengan garam logam berat dan membentuk lapisan film tipis yang tidak larut di dalam air. Kegunaan CMC adalah sebagai bahan dasar deterjen, sabun, produk makanan khususnya makanan diet (*dietetic foods*), dan es krim yang berfungsi sebagai pengikat air, pengental, suspensi, *emulsifier* dan *stabilizer* serta dapat memperbaiki volume dan tekstur khususnya sebagai pengganti lemak dalam pembuatan saus dan makanan ringan. Pada industri tekstil berfungsi sebagai *seizing*, pelapis kertas, *paper board*, emulsi cat, pelindung koloid (Basmal *et al.*, 2005).

Struktur CMC merupakan kopolimer dua unit β -D-glukosa dan β -D-glukopiranososa 2-O-(karboksimetil) dalam bentuk garam monosodium yang terikat

melalui ikatan β -1,4-glikosidik. CMC memiliki kelarutan lebih tinggi daripada selulosa, sehingga mudah dihidrolisis. Hidrolisis CMC menjadi gula-gula sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam, enzim, maupun mikroba selulolitik (Duff dan Murray, 1996).



Gambar 2. Struktur CMC (Nugraheni *et al.*, 2018)

Proses utama pembuatan CMC meliputi tahapan proses alkalisasi, dan karboksimetilasi. Pembuatan CMC meliputi tahap alkalisasi yaitu pereaksian antara selulosa dengan NaOH (alkali) yang dilanjutkan dengan reaksi karboksimetilasi antara alkali selulosa dengan sodium monokloroasetat (Safitri *et al.*, 2017). Produk CMC dalam industri memiliki syarat yang harus dipenuhi, hal tersebut tergantung pada tujuan penggunaannya, apakah untuk keperluan industri pangan atau bukan pangan. Sifat-sifat rheologi pada larutan CMC antara lain kelarutan CMC di dalam air, kemampuan mengikat air, kemampuan mengikat minyak, dan viskositas. Sifat rheologi larutan CMC tidak hanya dipengaruhi oleh nilai derajat substitusi, tetapi juga oleh interaksi ikatan hidrogen antara area yang berdekatan pada unit anhidroglukosa yang tidak tersubstitusi. Kemampuan CMC mengikat minyak maupun air berkaitan dengan kristalinitas. Kristalinitas yang tinggi menyebabkan kepolaran meningkat, dan kristalinitas yang rendah menyebabkan kepolaran semakin rendah, sehingga pengikatan minyak ataupun air sangat dipengaruhi oleh sifat kristalinitas dari selulosa. Kristalinitas pada produk CMC salah satunya dipengaruhi oleh proses alkalisasi selama sintesis CMC berlangsung (Hutomo *et al.*, 2012). Berdasarkan SNI 06-3736-1995 yaitu syarat mutu dari natrium karboksimetil selulosa teknis, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Syarat mutu natrium karboksimetil selulosa teknis SNI 06-3736-1995

No	Uraian	Mutu I	Mutu II
1	Kadar natrium karboksimetil selulosa, % min. ADBK	99,5	65,0
2	Kehilangan berat pada 105 °C, % maks	10,0	12,5
3	Natrium klorida, % mak	0,25	-
4	Glikolat bebas, % maks	0,4	10,0
5	Derajat substitusi	0,7 - 1,2	0,4 - 1,0
6	pH larutan 1%	6,0 - 8,0	6,0 - 8,5
7	Total logam berat, ppm maks	20	-
8	Timbal, ppm maks	10	-
9	Arsen, ppm maks	3	-

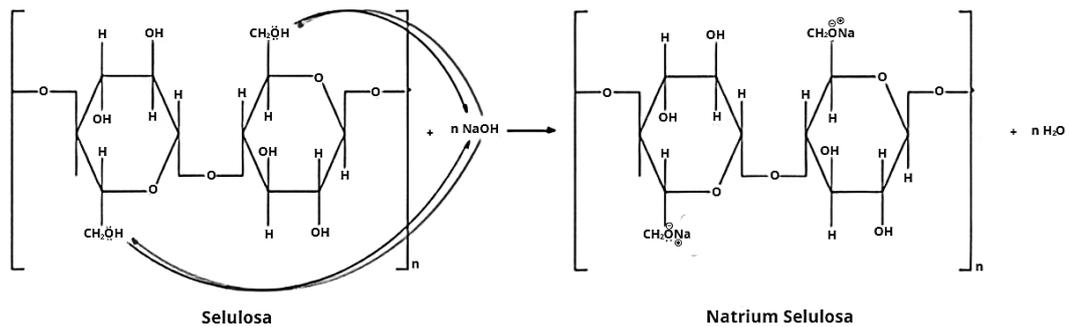
Sumber : BSN (1995)

2.1.4 Proses Pembuatan CMC

Proses pembuatan CMC meliputi beberapa tahapan, diantaranya yaitu proses alkalisasi, karboksimetilasi, penetralan, pencucian dan pengeringan. Alkalisasi dan karboksimetilasi merupakan tahapan utama dalam pembuatan CMC (Safitri *et al.*, 2017). Adapun proses pembuatan CMC meliputi tahapan alkalisasi, karboksimetilasi, penetralan, pencucian, dan pengeringan.

1. Alkalisasi

Pada tahap alkalisasi, selulosa akan mengembang yang menyebabkan struktur kristalin selulosa akan berubah dan meningkatkan kemampuan kimia, sehingga alkali dapat masuk ke dalam serat. Selain itu, fase cair melarutkan NaOH dan mendistribusikannya ke gugus hidroksil selulosa membentuk alkil selulosa. Larutan NaOH akan menembus ke struktur kristal selulosa, kemudian mensolvasi gugus hidroksil yang membuatnya siap untuk reaksi esterifikasi dengan cara memutus ikatan hidrogen. Alkalisasi dilakukan menggunakan NaOH, yang tujuannya mengaktifkan gugus-gugus OH pada molekul selulosa dan berfungsi untuk memudahkan difusi reagen pada tahap karboksimetilasi. Pada proses karboksimetilasi digunakan reagen natrium monokloroasetat (Ayuningtiyas *et al.*, 2017). Adapun mekanisme reaksi yang terjadi pada proses alkalisasi dapat dilihat pada Gambar 3.



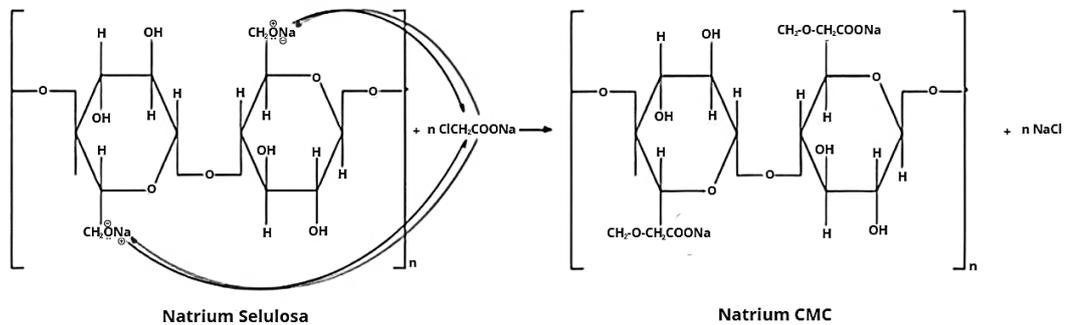
Gambar 3. Mekanisme reaksi alkalisasi (Eliza *et al.*, 2015)

Dalam proses alkalisasi, selulosa ditambahkan dengan NaOH sebagai reagen alkilasi. Sebelum alkalisasi dilakukan, selulosa dilarutkan dalam pelarut inert (etanol atau isopropanol), yang bertindak sebagai *swelling agent* dan sebagai pengencer yang memfasilitasi penetrasi ke struktur kristal selulosa. Pada tahap alkalisasi, terjadi reaksi substitusi antara gugus hidroksil NaOH menghasilkan alkali selulosa berupa larutan kental berwarna coklat muda. Adapun faktor yang mempengaruhi kualitas hasil alkalisasi adalah konsentrasi alkali, waktu, suhu reaksi, kandungan air, dan campuran jenis alkali (Hendayani dan Musianti, 1993).

2. Karboksimetilasi

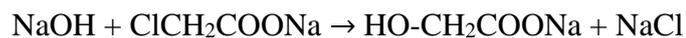
Setelah tahapan alkalisasi selesai, dilanjutkan dengan karboksimetilasi. Pada tahap karboksimetilasi terjadi pelekatan gugus-gugus karboksilat pada struktur selulosa yang dilakukan dengan menggunakan reagen asam trikloroasetat atau natrium monokloroasetat (Indriani *et al.*, 2021). Reagen monokloroasetat yang digunakan dalam sintesis karboksimetil selulosa sangat mempengaruhi derajat substitusi produk karboksimetil selulosa. Fungsi penambahan natrium monokloroasetat yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi dari unit anhidroglukosa pada selulosa. Bertambahnya jumlah alkali yang digunakan akan mengakibatkan naiknya jumlah garam monokloroasetat yang terlarut, sehingga mempermudah dan mempercepat difusi garam monokloroasetat ke dalam pusat reaksi yaitu gugus hidroksil. Oleh karena itu, komposisi reagen baik pada proses alkalisasi maupun karboksimetilasi sangat menentukan kualitas CMC yang

dihasilkan (Melisa *et al.*, 2014). Adapun mekanisme reaksi yang terjadi pada proses karboksimetilasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme reaksi karboksimetilasi (Eliza *et al.*, 2015)

Selain itu, terdapat pula reaksi yang menghasilkan produk samping karena adanya kelebihan NaOH. Kelebihan NaOH yang tidak bereaksi dengan selulosa pada tahap karboksimetilasi akan bereaksi dengan natrium monokloroasetat dan menghasilkan Na-glikolat dan NaCl. Semakin banyak NaOH yang ditambahkan, akan bertambah pula produk sampingnya. Hal ini akan berpengaruh pada kemurnian CMC yang dihasilkan, dimana semakin banyak produk samping yang terbentuk, maka kemurnian CMC yang dihasilkan akan semakin berkurang (Pitaloka *et al.*, 2015).



3. Penetralkan

Setelah tahap alkalisasi dan karboksimetilasi, dilakukan tahap penetralan. CMC teknikal yang diperoleh mengandung campuran NaCl dan Na-glikolat. Campuran tersebut dipisahkan dari produk murni. Natrium glikolat yang dihasilkan tersebut tidak mudah untuk diubah kembali menjadi natrium kloroasetat. Oleh karena itu, CMC dinetralkan dengan asam asetat bertujuan untuk menghilangkan kadar natrium glikolatnya (Putri, 2016). Proses penetralan ini juga dapat mempengaruhi karakteristik CMC yang dihasilkan karena proses ini akan mempengaruhi pH akhir dari CMC (Tangka'a *et al.*, 2020).

4. Pencucian

CMC yang telah dinetralkan selanjutnya dicuci menggunakan larutan etanol. Tujuan tahap pencucian ini adalah untuk menghilangkan natrium glikolat yang merupakan hasil produk samping dari tahap reaksi karboksimetilasi, serta pengotor-pengotor lain yang masih terkandung di dalam CMC. Tahap pencucian ini juga menyebabkan kandungan propanol di dalam CMC menjadi turun (Putri, 2016).

5. Pengeringan

Tahap pengeringan dilakukan setelah dilakukan pencucian. Tahap pengeringan adalah proses yang penting karena dapat mempengaruhi kualitas mutu dari CMC. Tujuan dari tahap pengeringan yaitu untuk mengurangi kadar air dari CMC, sehingga CMC dapat disimpan dalam waktu yang lama. Metode pengeringan CMC dilakukan dengan menggunakan oven suhu 60°C selama 24 jam agar kandungan air dapat menguap dengan maksimal. Setelah kering, CMC dihancurkan lalu disimpan dalam wadah yang tertutup (Putri, 2016).

2.1.5 *Response Surface Methodology (RSM)*

Response Surface Methodology (RSM) adalah kumpulan teknik matematika dan statistik yang berguna untuk memodelkan dan menganalisa masalah respon yang diinginkan, yang dipengaruhi oleh banyak variabel. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan respon. Biasanya *response surface* divisualisasikan secara grafis. *Contour plot* digunakan untuk membuat bentuk *response surface* lebih mudah untuk dilihat. Dalam *contour plot*, garis respon konstan digambar pada bidang X_1 , dan X_2 . Setiap kontur sesuai dengan ketinggian tertentu dari *response surface* (Widarsaputra *et al.*, 2022).

RSM atau bisa juga disebut metode respon permukaan adalah kumpulan teknik matematika dan statistik yang berguna untuk menganalisis masalah di mana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon untuk tujuan pengoptimalan (Octaviani *et al.*, 2017). RSM dapat menjadi cara untuk menghemat tenaga, waktu dan biaya serta dapat mengoptimalkan interaksi faktor-faktor operasi

proses produksi industri manufaktur, sehingga mulai sering digunakan hingga saat ini (Agustian *et al.*, 2021).

Desain *response surface* yang baik dibangun untuk bekerja dengan baik di bawah asumsi model tertentu, tetapi asumsi model yang dianalisis harus dievaluasi untuk memastikan bahwa kesan eksperimental pertama dari sistem yang diselidiki cocok dengan pasangan dari hubungan yang mendasarinya. Hal tersebut menghasilkan data untuk dianalisis, sehingga mempertimbangkan tujuan percobaan tertentu dan analisa yang akan dilakukan, harus dipertimbangkan dengan hati-hati sebelum memilih desain pengumpulan data (Myers *et al.*, 2016).

Response surface merupakan desain untuk mencocokkan permukaan respon. Pencocokan menggunakan desain yang berbeda untuk setiap modelnya. Dalam RSM terdapat dua desain yaitu :

a) *Central Composite Design* (CCD)

Central Composite Design (CCD) dalam proses optimasi dilakukan untuk mengetahui perkiraan arah optimal karena dalam RSM optimasi dan lokasi optimal tidak diketahui. Selain itu, pada CCD memiliki *rotatability* atau pada titik x yang berada pada jarak yang sama akan memiliki $(y(x))$ yang sama sehingga penting untuk dilakukan. Titik uji yang dalam CCD diambil berdasarkan nilai batas uji yang ditentukan untuk masing-masing faktor penelitian. Data respon yang diperoleh dimodelkan oleh model matematika yang sesuai. Pada CCD, terdapat beberapa model yaitu *mean*, *liniear*, *quadratic*, *2 factor interaction* (2FI), dan *cubic*. Kriteria pemilihan model respon sama seperti pada pemilihan model dalam *mixture design*. Penentuan titik optimum dilihat dari nilai *desirability* yang dihasilkan. *Desirability* menunjukkan seberapa terpenuhi atau mendekati oleh titik optimum. Nilai *desirability* mendekati 1 adalah nilai yang diharapkan. Titik optimum yang baik memiliki *desirability* yang tinggi atau mendekati 1 (Montgomery, 2017).

b) *Box-Behnken Design* (BBD)

Box-Behnken Design (BBD) digunakan untuk optimasi dengan tiga variabel independen. Perbedaan *Box-Behnken Design* (BBD) dengan *Central Composite Design* (CCD) yaitu pada rancangan. Pada BBD rancangan percobaanya lebih efisien karena sedikit run/unit percobaan dibandingkan dengan CCD (Purwanti dan Pilaran, 2013). Walaupun jumlah run yang lebih sedikit tetapi *Box-Bhenken* mampu

memprediksi nilai optimum baik linier maupun kuadratik dengan baik (Perincek dan Colak, 2013).

Berdasarkan Montgomery (2001) terdapat empat tahapan dalam penggunaan metode RSM yaitu sebagai berikut :

1. Tahap pembuatan rancangan formulasi dan respon

Pembuatan rancangan formulasi dan respon dilakukan dengan program *design expert* 13.0.5.0 untuk menentukan variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap adalah variabel yang nilainya dibuat sama dalam tiap perlakuan karena dianggap tidak mempengaruhi respon dan variabel bebas adalah variabel yang akan mempengaruhi respon yang dihasilkan. Penentuan variabel bebas diperoleh berdasarkan kajian peneliti sebelumnya dan dilakukan *trial and error* untuk menentukan batas minimum dan maksimum. Setelah itu, nilai batas minimum dan maksimum dimasukkan ke dalam program untuk diacak.

2. Tahap formulasi

Tahap formulasi merupakan tahap pembuatan produk, sesuai dengan rancangan perlakuan yang telah ditentukan sebelumnya oleh program.

3. Tahap analisis respon

Analisa data akan dilakukan menggunakan statistik *analysis of variance* (ANOVA) pada masing-masing respon. Hasil pembacaan menggunakan analisa ANOVA meliputi signifikansi nilai p-value terhadap model, signifikansi *lack of fit*, selisih nilai *adjusted R-squared* dengan *predicted R-squared*, serta *adequate precision*. Signifikansi model dilihat dari nilai probabilitas atau Prob > F. Probabilitas merupakan peluang atau probability nilai F. Nilai probabilitas tersebut didapatkan dari tabel probabilitas pada derajat bebas *error* dan derajat model tertentu yang menunjukkan letak nilai F. Nilai F merupakan hasil perhitungan dari *mean square* atau rata-rata kuadrat dibagi dengan rata-rata *error* kuadrat atau *residual mean square*. Jika nilai probabilitas kurang dari nilai α (5%) maka dapat dikatakan faktor berpengaruh nyata atau signifikan terhadap respon pada taraf signifikansi 5%.

- *Lack of fit* menunjukkan ketidaksesuaian model dengan data. Jika nilai *lack of fit* kurang dari nilai α (5%) atau signifikan, maka model dikatakan tidak sesuai dengan data yang ada. Model yang baik memiliki nilai *lack of fit* yang

tidak signifikan atau lebih dari nilai α (5%). Hal tersebut menunjukkan bahwa model yang didapatkan sesuai dengan data yang ada atau dapat memodelkan data secara tepat.

- *Adjusted R-square* dan *predicted R-square* merupakan *R-square* atau R^2 . R^2 menunjukkan variasi data disekitar rata-rata data yang dijelaskan oleh model. Jika nilai R^2 tinggi (mendekati 1) maka data tidak terlalu bervariasi atau sedikit pencilan (outlier). *Adjusted R-square* adalah *R-square* hitung berdasarkan data yang diperoleh, sedangkan *predicted R-square* adalah *R-square* prediksi. Program *design expert* memberikan toleransi selisih antara kedua R^2 dengan nilai 2. Jika selisih nilai kedua R^2 kurang atau sama dengan 2 maka dikatakan data *in reasonable agreement* yang berarti tidak banyak data pencilan atau nilai respon prediksi sesuai dengan nilai respon aktual, sehingga model yang diperoleh dapat memodelkan data dengan baik.
- *Adeq Precision* atau *adequate precision* merupakan ukuran rentang nilai respon prediksi yang dihubungkan dengan *error*. Nilai *Adequate Precision* menunjukkan presisi data. Nilai *adeq Precision* yang baik adalah lebih dari 4 yang berarti presisinya baik.

4. Tahap optimasi

Setelah dihasilkan model yang tepat, maka langkah selanjutnya adalah optimasi untuk mendapatkan titik optimum atau formula terbaik. Penentuan titik optimum dilakukan berdasarkan beberapa kriteria yang diinginkan. Dalam hal ini jumlah komponen atau respon dapat diarahkan untuk mendekati jumlah terkecil (*minimize*) atau tertinggi (*maximize*), serta *in range* yang berarti saat dioptimasi jumlah respon akan diarahkan untuk berada di daerah antara batas atas dan batas bawah. Kriteria-kriteria tersebut akan menentukan titik optimum dengan nilai *desirability* tertentu.

Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai 1. Nilai *desirability* yang mendekati nilai 1, menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna. Nilai tersebut juga menandakan kondisi terbaik, yang mempertemukan semua fungsi tujuan (Raissi dan Farzani, 2009).

Setelah diperoleh kondisi proses optimum, dilanjutkan ke tahapan verifikasi, yaitu dilakukan pengolahan dan analisis respon sesuai dengan formulasi terbaik yang didapatkan dari hasil optimasi RSM. Setelah didapatkan data verifikasi, kemudian dicocokkan kembali apakah hasil yang didapat masih berada di dalam kisaran *Confident Interval* (CI) atau *Prediction Interval* (PI) 95%. Apabila hasil verifikasi masih berada pada kisaran CI maupun PI, maka dapat disimpulkan bahwa model yang didapat sudah sesuai dengan yang ditunjukkan oleh *software* dan dapat diaplikasikan pada real produksi di lapangan (Anihouvi *et al.*, 2011).

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pembuatan CMC telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Adapun hasil penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil penelitian terdahulu

No	Nama	Tahun	Parameter	Hasil
1	Rahman Nur, Tamrin, Muh. Zakir Muzakkar	2016	- Sintesis <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) dari Selulosa Jerami Padi - Konsentrasi Natrium Monokloroasetat (4, 6, dan 8 gram)	Kondisi optimum reaksi sintesis CMC dari jerami padi diperoleh pada penambahan 4 gram natrium monokloroasetat yang menghasilkan kemurnian sebesar 98,86%; derajat substitusi sebesar 0,31; pH sebesar 10,55; dan viskositas 1,44 cP.
2	M. Khoiron Ferdiansyah, Djagal Wiseso Marseno, Yudi Pranoto	2017	- Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Pelepah Kelapa Sawit - Konsentrasi NaOH (10, 15, dan 20 %) - Konsentrasi Natrium Monokloroasetat (4, 6, dan 8 gram)	CMC pelepah kelapa sawit terbaik diperoleh dengan perlakuan konsentrasi NaOH 10%, berat NaMCA 4,57 gram, dan suhu reaksi 46,59°C. Uji verifikasi menunjukkan CMC dengan kondisi optimum memiliki derajat substitusi sebesar 0,75.

No	Nama	Tahun	Parameter	Hasil
			- Suhu Reaksi Karboksimetilasi (50, 55, dan 60°C)	
3	Firda Dimawarnita, dan Tri Panji	2018	- Sintesis Karboksimetil Selulosa dari Sisa Baglog Jamur Tiram (<i>Pleurotus ostreatus</i>) - Komposisi baglog sebagai media pertumbuhan jamur, terdiri atas TKKS 70,3%; serbuk gergaji 23,4%; dedak 4,5%; CaCO ₃ 1,3%; dan TSP 0,4%.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa CMC yang dihasilkan masuk kedalam grade II berdasarkan standar SNI 06-3726-1995 dengan nilai derajat substitusi 0,64; viskositas 43 cP; dan kemurnian 73,40%.
4	Refy, Mugrima	2019	- Sintesis <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) dari Selulosa - Konsentrasi Natrium Monokloroasetat (1, 2, 3, 4, 5, dan 6 gram)	Semua variasi memenuhi persyaratan. Variasi natrium monokloroasetat berpengaruh terhadap hasil sintesis dan derajat substitusi CMC, namun penggunaan NaMCA 5 dan 6 gram, CMC yang dihasilkan berwarna coklat dan menggumpal.
5	Ari Prayitno, S. Djatmiko Hadi, dan Rudi Firyanto	2020	- Pembuatan NaCMC dari Batang Eceng Gondok - Konsentrasi NaOH 10% dan 30% - Waktu alkalisasi 60 menit dan 120 menit	Hasil penelitian NaMCA yang ditambahkan sebanyak 9 gram, CMC optimal yaitu konsentrasi NaOH 25%, waktu 60 menit, dan suhu reaksi 60°C dengan nilai rendemen sebesar 42,65. Hasil analisa NaCMC pada kondisi optimum diperoleh derajat

No	Nama	Tahun	Parameter	Hasil
			- Suhu reaksi 25°C dan 60°C	substitusi 0,76; kadar NaCl 20,45%; pH 8,37; viskositas 13 cP.
6	Pttrathip Rodsamran, and Rungsinee Sothornvit	2020	- Pembuatan <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) dari Limbah Tunggul Padi - Konsentrasi Asam Kloroasetat (5, 6, dan 7 gram) - Suhu Reaksi (50, dan 70°C) - Waktu Reaksi (180, 270 dan 360 menit)	CMC terbaik dihasilkan pada penggunaan 7 g asam kloroasetat dengan 5 g selulosa pada suhu 50°C selama 180 menit berbentuk bubuk halus dengan sedikit kekuningan, mudah larut air, dengan rendemen 150,08%; kadar air 6,99%; pH 8,21; derajat substitusi 0,64, viskositas 33,03 cP; dan kemurnian 90,18%.
7	Masrullita, Rizka Nurlaila, Zulmiardi, Ferri Safriwardy, Auliani, Meriatna	2022	- Sintesis <i>Carboxymethyl Cellulose</i> (CMC) dari Jerami Padi - Persentase Konsentrasi Natrium Monokloroasetat (5, 6, 7, 8 dan 9 gram)	Hasil penelitian penggunaan natrium monokloroasetat berpengaruh nyata terhadap sifat kimia CMC limbah jerami padi. CMC yang dihasilkan juga memenuhi standar SNI sehingga bisa digunakan untuk industri pangan dan farmasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis, Lokasi, dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pusat Riset Agroindustri kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Setu, Kota Tangerang Selatan. Penelitian dimulai pada bulan Maret 2024 sampai dengan Juni 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu spektrometer FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) (*Thermo Scientific Nicolet iS-10*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Jeol JSM-IT200), *chromameter hunterlab* model 4500S mini scan EZ, oven (*Memmert*, model UN30), hotplate (*Heidolph, MR-Hei Standard*), neraca analitik (*Ohaus, Pioneer PA214C*), *waterbath shaker* (*Daihan, WSB18*), lemari asam (*bio clamb*), *viscometer brookfield*, blender (Miyako), pH meter (*Benchtop – OAKLON, PC 700 pH*), desikator, loyang, gelas beaker (*iwaki®*), gelas ukur (*pyrex®*), magnetik stirer, batang pengaduk, *thermometer*, desikator, ayakan 60 mesh, cawan aluminium, aluminium foil, pipet tetes, buret, klem dan statif, sudip, pisau, kain saring, gunting.

Bahan yang digunakan yaitu jerami padi varietas Ciherang yang diperoleh dari sawah Desa Ciagel, Kecamatan Kibin, Kabupaten Serang yang sudah kering, berumur 3-5 hari setelah panen, dan berwarna kuning kecoklatan, NaMCA (Merck), NaOH (Merck), NaCl (PT.Sarana Mitra Anugrah), NaOCl (PT.Sarana Mitra Anugrah), CH₃COOH (Merck), isopropanol (Merck), etanol (PT.Sarana Mitra Anugrah), dan aquades.

3.3 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.3.1 Rancangan Model Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode optimasi *Response Surface Method* (RSM), dengan rancangan percobaan *Central Composite Design* (CCD) pada

software Design Expert 13 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) untuk mengetahui formula optimal natrium monokloroasetat dan waktu reaksi terhadap karakteristik fisikokimia *carboxymethyl cellulose*.

3.3.2 Rancangan Perlakuan

Penelitian ini terdiri dari 2 variabel yaitu berat natrium monokloroasetat (X) dan waktu reaksi (Y). Batas bawah dan batas atas taraf penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Batas setiap variabel

Variabel		Taraf		
		Bawah	Tengah	Atas
Natrium monokloroasetat (Gram)	X	2	5	8
Waktu reaksi (Jam)	Y	1	2	3

Proses optimasi dilakukan dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD) dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) menggunakan 5 *center point* dan menghasilkan 13 perlakuan percobaan setelah dioperasikan menggunakan *Design Expert 13*. Jumlah unit percobaan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Rancangan perlakuan optimasi

Run	Faktor 1 NaMCA (X)	Faktor 2 Waktu reaksi (Y)
1	5	2
2	8	3
3	5	2
4	2	1
5	0,757359	2
6	2	3
7	8	1
8	9,24264	2
9	5	3,41421
10	5	2
11	5	0,585786
12	5	2
13	5	2

Berdasarkan Indrayani (2018), penentuan titik optimum dilakukan berdasarkan jumlah kuadrat dari urutan model (*sequential model sum of squares*), pengujian ketidaktepatan model (*lack of fit*), ringkasan model statistik (*model summary statistic*) dan ANOVA :

1) Berdasarkan *sequential model sum of squares*

Model terpilih berdasarkan uraian jumlah kuadrat adalah urutan *polynomial* dengan nilai tertinggi dimana syarat model yang diterima bernilai nyata jika p-value bernilai kurang dari 5% (0,05) yang berarti bahwa model tersebut dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon.

2) Berdasarkan *lack of fit*

Dari keempat model, pemilihan model harus didasarkan pada hasil uji ketidaktepatan model (*lack of fit*) dengan model pemilihan berstatus “*suggested*”. Menurut Gasperz (1995), suatu model dianggap tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari sistem yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat tidak berbeda nyata secara statistik.

3) Berdasarkan *model summary statistic*

Desain terbaik difokuskan pada nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang maksimal. Selain itu parameter yang digunakan untuk memilih model yang terbaik adalah model yang memiliki standar deviasi dan PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) paling minimal (Draper and Smith, 1998).

Nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang maksimal, hal ini dikarenakan semakin kecil nilai *R²* menunjukkan semakin lemahnya hubungan antara variabel *dependent* dan *independent* (Nisfianoor, 2009). Nilai *R²* berkisar pada angka 0 sampai 1. Semakin mendekati nilai 1 maka pengaruh variabel penduga (*independent*) terhadap variabel tergantung (*dependent*) semakin kuat (Nawari, 2010). Model terpilih didasarkan pada nilai standar deviasi dan PRESS terendah. Semakin besar nilai standar deviasi maka menunjukkan bahwa data semakin bervariasi, sehingga apabila nilai standar deviasi semakin kecil maka tingkat keseragaman data semakin besar (Santoso, 2009). Sedangkan nilai PRESS yang semakin kecil menunjukkan kesalahan data semakin kecil pula.

3.3.3 Rancangan Respon

Respon yang diamati untuk keseluruhan satuan percobaan meliputi respon rendemen, derajat keasaman (pH), kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka ditentukan sampel terpilih yang memiliki kemurnian tertinggi dan rendemen tertinggi. Sampel terpilih kemudian akan dilanjutkan analisis berupa FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dan analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3.3.4 Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini, melalui beberapa tahapan, adapun diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.

3.3.4.1 Persiapan Sampel

Proses pembuatan sampel mengacu pada Nur *et al.* (2016), dengan modifikasi. Modifikasi dilakukan pada tahapan pengeringan, dan pengayakan. Prosedur persiapan sampel terlebih dahulu jerami padi dicuci dengan air bersih, kemudian jerami dikeringkan didalam oven suhu 60°C selama 24 jam, jerami dipotong menggunakan gunting kemudian dihancurkan menggunakan mesin blender lalu disaring dengan ayakan 60 mesh. Diagram alir persiapan sampel bubuk jerami padi varietas Ciherang dapat dilihat pada Gambar 6.

3.3.4.2 Ekstraksi Selulosa

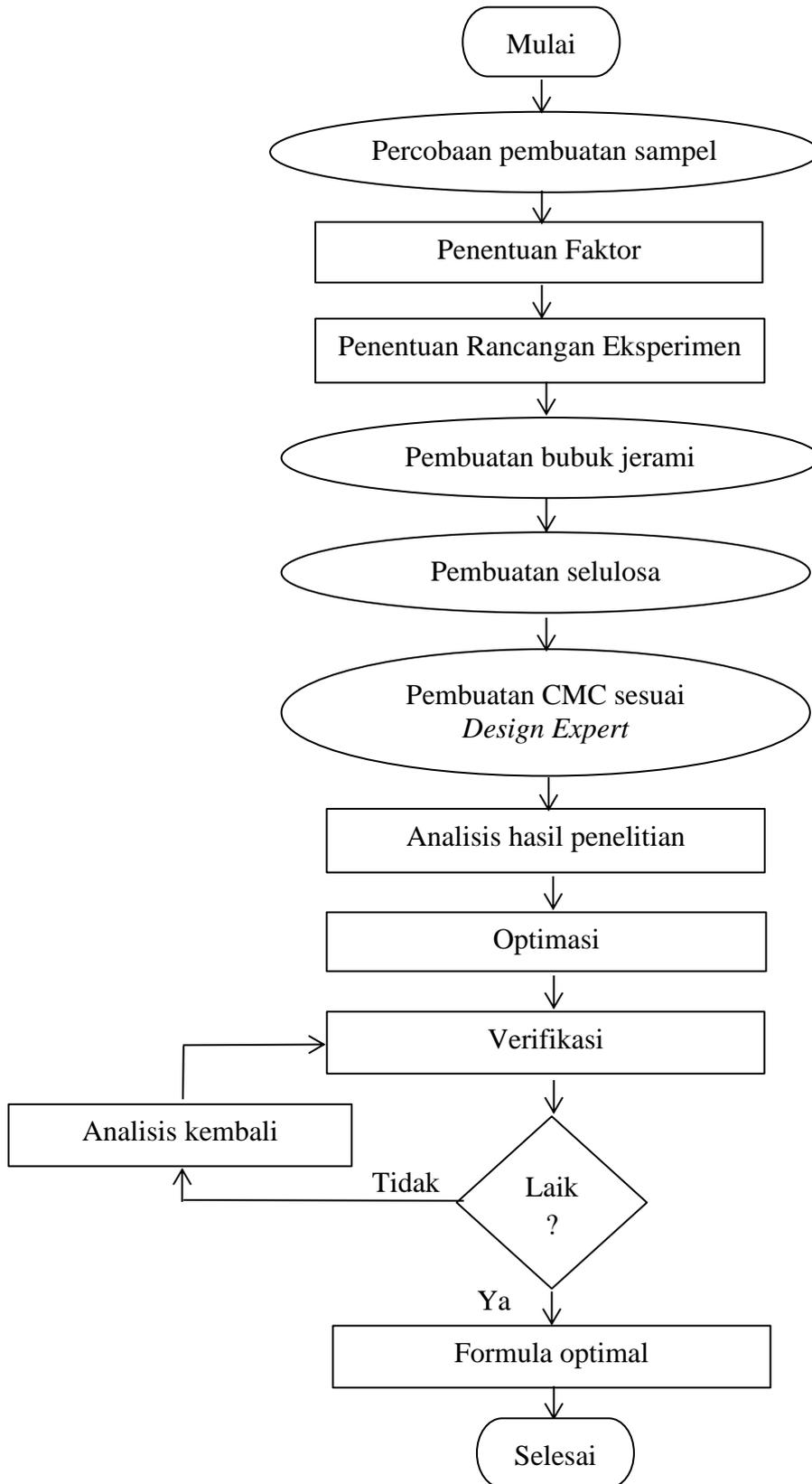
Proses ekstraksi selulosa jerami mengacu pada Masrullita *et al.* (2021), dengan modifikasi. Modifikasi dilakukan pada tahapan hidrolisis, pemutihan, dan pengeringan. Sampel bubuk jerami ditimbang sebanyak 25 gram kemudian dihidrolisis dengan menggunakan larutan NaOH 15% 125 mL pada suhu 100°C selama 3 jam. Hasil delignifikasi disaring kemudian ditambahkan 5 mL asam asetat glasial 10% dan 10 gram NaCl. Sampel disaring kembali dan dilakukan pencucian menggunakan aquades. Selulosa selanjutnya dilakukan proses pemutihan, proses ini melalui 2 tahap, pemutihan tahap pertama dilakukan dengan cara memasukkan sampel ke dalam oven pada suhu 60°C selama 3 jam dengan 125 mL NaOCl 15% dan 500 mL aquades kemudian disaring. Proses pemutihan tahap kedua dilakukan

dengan cara mencuci selulosa dengan 50 mL NaOCl 15% dan dibilas menggunakan aquades 250 mL. Setelah proses pemutihan selesai, selulosa basah dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Selulosa dihaluskan dengan menggunakan blender. Diagram alir ekstraksi selulosa jerami padi dapat dilihat pada Gambar 7.

3.3.4.3 Pembuatan CMC

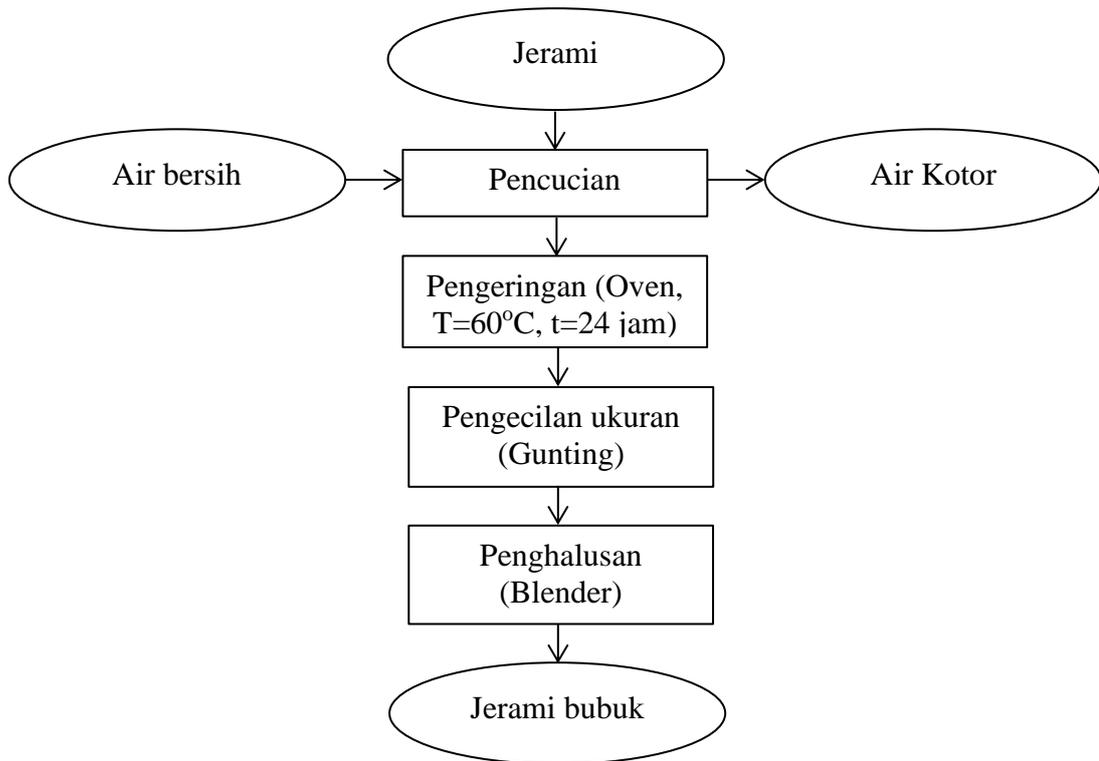
Proses pembuatan CMC jerami padi mengacu pada penelitian Yimlamai *et al.*, (2021) dan Dimawarnita dan Panji, (2018) dengan modifikasi. Modifikasi dilakukan pada tahap karboksimetilasi. Pembuatan CMC terdiri atas 2 proses, yaitu alkalisasi dan karboksimetilasi. Pada proses alkalisasi selulosa dari jerami diambil sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker lalu ditambah dengan 80 mL etanol, 20 mL isopropanol dan menambahkan 20 mL NaOH 10% secara perlahan-lahan, larutan didiamkan selama 1 jam pada suhu 25°C sambil diaduk dengan kecepatan 500 rpm. Proses karboksimetilasi dengan menambahkan 2-8 gram natrium monokloroasetat (NaMCA) yang dilarutkan dalam 60 mL etanol selama 1-3 jam pada suhu 55°C. Larutan kemudian dinetralkan dengan penambahan asam asetat glasial sebanyak 2 mL secara perlahan-lahan, lalu disaring dan dicuci dengan 50 mL etanol sebanyak 4 kali. CMC basah dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. Diagram alir pembuatan CMC jerami padi dapat dilihat pada Gambar 8.

Adapun diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut :



Gambar 5. Diagram alir pelaksanaan penelitian

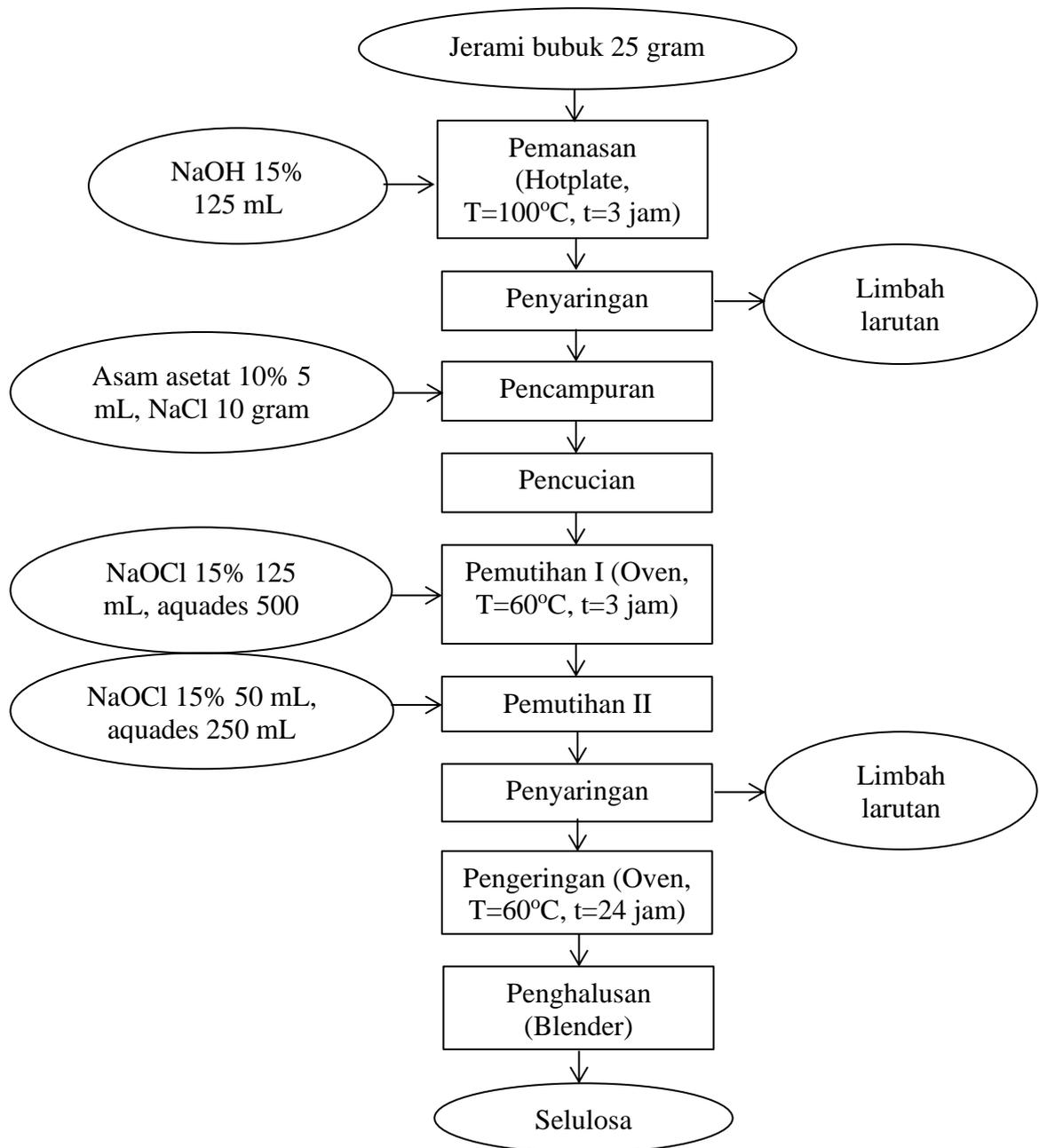
Adapun diagram alir persiapan sampel bubuk jerami yaitu sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram alir persiapan sampel bubuk jerami

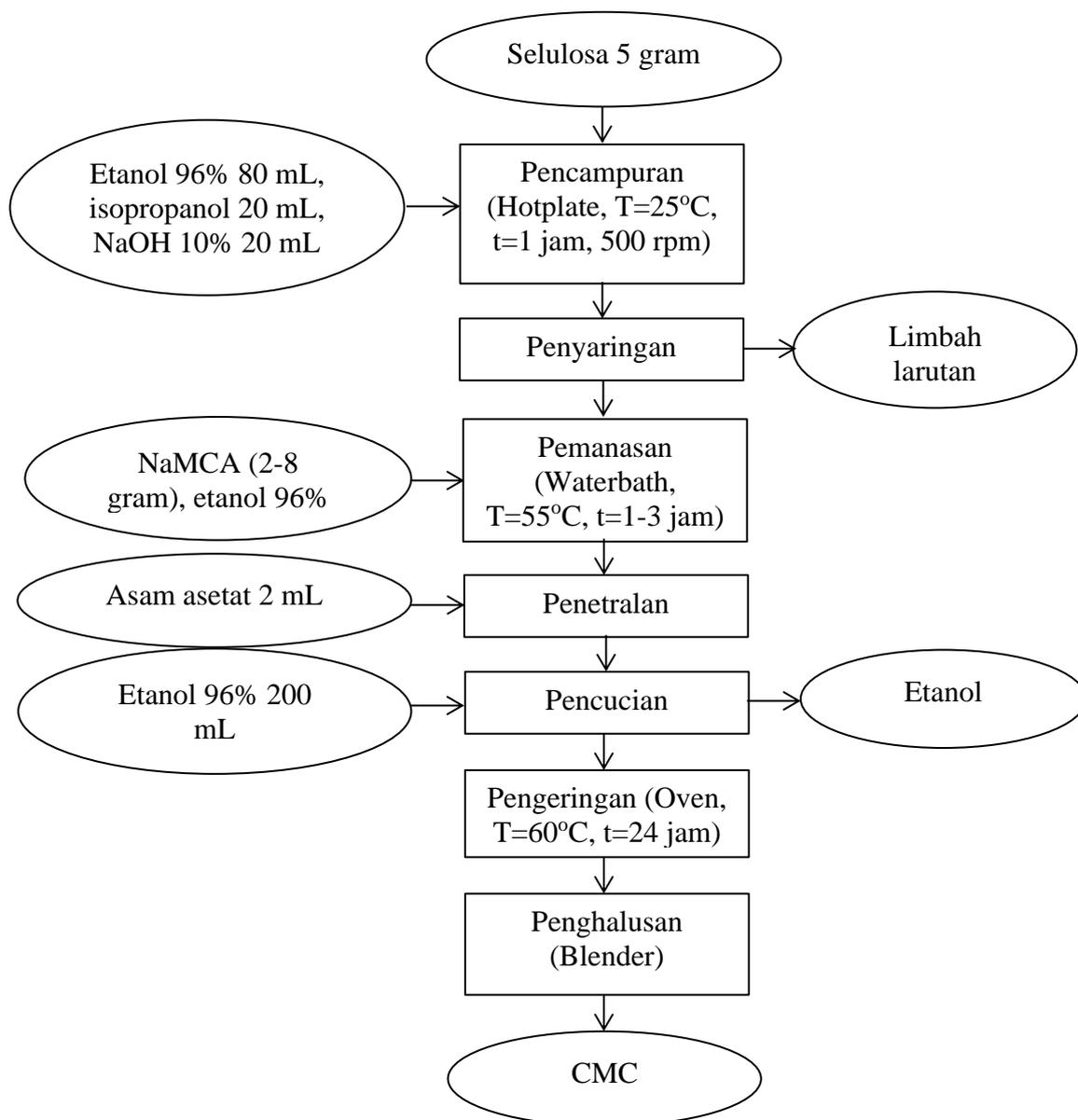
Sumber : Nur *et al.*, (2016) dengan modifikasi

Adapun diagram alir pembuatan selulosa jerami yaitu sebagai berikut :



Gambar 7. Diagram alir ekstraksi selulosa jerami
Sumber : Masrullita *et al.*, (2021) dengan modifikasi

Adapun diagram alir pembuatan CMC jerami yaitu sebagai berikut :



Gambar 8. Diagram alir pembuatan CMC jerami

Sumber : Dimawarnita dan Panji, (2018) dengan modifikasi

3.3.5 Metode Pengujian

a) Rendemen (Abdulhameed *et al.*, 2019)

Rendemen dihitung berdasarkan hasil perbandingan CMC yang diperoleh dengan berat awal jerami yang dinyatakan dalam persen (%). Rendemen dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot CMC (gram)}}{\text{Bobot jerami padi (gram)}} \times 100\%$$

b) Derajat Keasaman (pH) (SNI, 1995)

CMC ditimbang 1 gram dan dilarutkan dalam aquades 100 mL dengan memanaskan pada suhu 60°C-70°C dan diaduk sampai larut. Setelah larut merata, didinginkan pada suhu ruang. Penetapan pH dilakukan dengan pH meter.

c) Kadar Air (AOAC, 2005)

Kadar air ditentukan secara langsung dengan menggunakan oven pada suhu 105°C. Cawan kosong di konstantkan terlebih dahulu dengan pengeringan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit kemudian ditimbang hingga memperoleh bobot konstan. Sampel CMC di timbang sebanyak 1 gram dalam cawan kosong yang telah diketahui bobotnya. Sampel dimasukan dalam oven pada suhu 105°C selama 6 jam. Selanjutnya didinginkan kembali dalam desikator selama 30 menit dan ditimbang hingga memperoleh bobot konstan. Persen perhitungan kadar air dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w1_{(gram)} - w2_{(gram)}}{w1_{(gram)}} \times 100 \%$$

Keterangan:

w1 = Bobot sampel awal sebelum dikeringkan (gram)

w2 = Bobot sampel akhir setelah dikeringkan (gram)

d) Derajat Putih (Tarlak *et al.*, 2016)

Pengukuran derajat putih dilakukan dengan menggunakan alat Chromameter, sebelum melakukan pengukuran derajat putih, alat Chromameter dikalibrasi terlebih dahulu kemudian pengukuran dilakukan dengan meletakan Chromameter tepat diatas CMC tanpa ada celah kemudian ditekan tombol pengukuran, sumber cahaya menyala dan reflektan terukur.

Hasil pengukuran derajat putih ini menggunakan notasi L* (kecerahan), a* (+ merah, - hijau), b* (+ kuning, - biru). Hasil L*, a*, b* dapat digunakan untuk

mengetahui derajat putih sampel CMC. Nilai derajat putih dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Keterangan:

- W = Derajat putih
- L* = Warna akromatik putih
- a* = Warna akromatik campuran merah-hijau
- b* = Warna akromatik campuran biru-kuning

e) Viskositas (Shyni *et al.*, 2014)

Sampel CMC ditimbang sebanyak 1 gram lalu dilarutkan dengan aquadest 100 mL pada *beaker glass* kemudian larutan dipanaskan hingga suhu tetap 80°C. Larutan diaduk sampai homogen selama 10 menit, kemudian larutan dianalisis menggunakan viskometer dengan memakai spindel sehingga diketahui besaran nilai viskositas dengan satuan cP pada setiap sampelnya.

f) Kemurnian (Wijayani *et al.*, 2005)

Kemurnian CMC dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Kemurnian (\%)} = 100 \% - \text{Kadar NaCl (\%)}$$

g) Kadar NaCl (SNI, 2004)

Sampel CMC ditimbang sebanyak 0,5 gram, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer, diencerkan dengan 100 mL aquades lalu dipanaskan pada suhu 70°C. Kemudian ambil 10 mL aliquot kemudian masukkan ke dalam erlenmeyer berukuran 250 mL dan tambahkan 5 tetes indikator K₂CrO₄ 5%, selanjutnya dititrasi menggunakan AgNO₃ 0,0105 N. Kemurnian CMC dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Kadar NaCl (\%)} = \frac{V_{(mL)} \times N_{(N)} \times 58,45 \times FP}{A_{(gram)} \times (100 - B_{(\%)})} \times 100$$

Keterangan:

- V = Volume AgNO₃ 0,0105 N (mL)
- N = Normalitas AgNO₃ (N)

Bobot molekul NaCl = 58,45

A = Bobot sampel (gram)

B = Kadar air (%)

FP = Faktor pengenceran

3.3.6 Pengolahan Data

a. Tahap Analisis Respon

Data hasil penelitian diolah menggunakan bantuan *software* Design Expert 13.0 metode *Response Surface Methodology* (RSM) CCD berdasarkan nilai rata-rata pengukuran pada 13 unit percobaan analisis respon ditampilkan dalam *analysis of variance* (ANOVA), Model ANOVA yang digunakan dipilih sesuai dengan yang disarankan oleh program yaitu model yang memiliki level tertinggi dan menghasilkan nilai ANOVA yang signifikan. Model harus menunjukkan '*must be significant*' dan pada *lack of fit* harus menunjukkan '*must be not significant*', untuk mengetahui adanya pengaruh nyata dari tiap perlakuan yang diberikan terhadap respon (Azharini *et al.*, 2022). Uji signifikansi melalui ANOVA bertujuan untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai faktor yang diuji terhadap respon. *R-square* atau R^2 menunjukkan koefisien determinasi yang berkisar antara 0-1. Apabila nilai R^2 semakin mendekati 1 maka hubungan antara variabel dependen semakin dekat dan berlaku sebaliknya.

b. Tahap Optimasi

Pada optimasi variabel respon digunakan sebagai model prediksi untuk menentukan formula optimal. Pada penelitian ini program akan melakukan optimasi berdasarkan pada parameter nilai rendemen, pH, kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl. Setelah dilakukan optimasi, program akan merekomendasikan beberapa formula yang optimal, berdasarkan nilai *desirability* maksimum (mendekati 1). Nilai target optimasi dinyatakan dengan *desirability* memiliki nilai diantara 0 hingga 1. Semakin mendekati nilai 1, suatu formula semakin mudah mencapai titik formula optimal berdasarkan variabel responnya. Optimalisasi dilakukan untuk mencapai nilai *desirability* yang maksimum dengan

tujuan utamanya untuk mencari kombinasi yang tepat dari berbagai komposisi bahan (Nurmiah *et al.*, 2013).

c. Tahap Verifikasi

Tahap verifikasi dilakukan setelah formula optimum diperoleh, yaitu dengan membuat formula terbaik dari hasil optimasi *design expert* 13.0. Tujuan dari tahap verifikasi untuk melihat kesesuaian nilai respon prediksi yang dihasilkan program dengan nilai aktual yang didapatkan. Verifikasi dilakukan dengan dua ulangan dan hasilnya akan dibandingkan dengan nilai respon yang diprediksi oleh *Design Expert* 13. Setelah itu, akan dipilih satu formula terbaik dari hasil pembuatan CMC jerami (Nurmiah *et al.*, 2013).

3.3.7 Analisis Sampel Terbaik

1. FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) (Indriyati *et al.*, 2016)

Karakterisasi dengan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) yaitu untuk melihat gugus fungsi penyusunnya. Pelet dibuat dari sampel CMC (2-5 mg) digerus bersama dengan KBr (200-250 mg). Spektrum inframerah dari sampel Na-CMC direkam dengan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR). Transmisi diukur pada bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} . Pada analisis FTIR, sampel yang diuji hanya dua sampel yaitu sampel dengan rendemen tertinggi dan sampel dengan kemurnian tertinggi.

2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) (Dimawarnita *et al.*, 2019)

Analisis menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk melihat bentuk morfologi CMC. Sampel diletakkan dan ditempel di atas SEM spesimen holder dengan menggunakan *double tape* karbon dengan bagian penampang lintang mengarah vertikal ke atas atau menghadap lensa objektif. SEM dioperasikan dengan standar parameter operasi sebagai berikut: tegangan = 20 kV, ukuran titik = 50, dan jarak kerja setinggi 10 mm. Jarak 10 mm dipilih sebagai kompromi terhadap setingan untuk akuisisi sinyal sehingga pendeteksian X-Ray dan pencacahannya optimal. Sampel yang diuji SEM hanya sampel dengan rendemen tertinggi dan kemurnian tertinggi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan formula optimal CMC Jerami padi menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan bantuan *software Design Expert 13*. Kelebihan dari metode ini yaitu (1) dapat meminimalkan desain percobaan sehingga lebih menghemat biaya dan waktu, (2) membangun model, (3) mengevaluasi efek dari masing-masing faktor serta (4) dapat menentukan kondisi yang optimal. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Central Composite Design* (CCD), rancangan ini dipilih karena setiap faktor terdiri dari 5 level yaitu plus minus alpha (titik aksial), plus dan minus 1 (titik faktorial), dan titik pusat. Kombinasi dari ketiga jenis titik ini dapat digunakan untuk membangun model respon yang lebih akurat dan memahami hubungan antara variabel eksperimen. Penelitian ini terdiri dari penentuan faktor, pengambilan respon, optimasi, verifikasi, dan analisis sampel terbaik.

4.1 Penentuan Faktor

Faktor yang digunakan pada penelitian ini yaitu konsentrasi natrium monokloroasetat (NaMCA) dan lama waktu reaksi. Pada faktor NaMCA batas bawah, batas tengah dan batas atas yang dipilih yaitu masing-masing sebesar 2 gram, 5 gram, dan 8 gram, sedangkan penentuan batas waktu reaksi dengan batas bawah, batas tengah dan batas atas yang dipilih yaitu masing-masing sebesar 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Penentuan batas pada penelitian ini berdasarkan studi literatur.

Pada penentuan NaMCA, berdasarkan Mugrima (2019), sintesis CMC dari selulosa dengan penggunaan 2 gram NaMCA menghasilkan rendemen sebesar 200,68%; viskositas 300 cP; pH 7,8; derajat substitusi 0,4; dan kelembapan 2,73%. Hasil penelitian Safitri *et al.* (2024), sintesis CMC dari kulit pisang ambon hijau dengan penggunaan 5 gram NaMCA menghasilkan CMC yang optimal dengan pH 7,9; kemurnian 83,0%; dan derajat substitusi 0,76. Hasil penelitian Hariani *et al.* (2019), pembuatan CMC dari selulosa pelepah kelapa sawit dengan penggunaan NaMCA 8 gram menunjukkan CMC dengan kondisi optimum memiliki nilai derajat substitusi sebesar 0,81; viskositas 5,72 cP; pH 7,67; dan kemurnian 99,56%.

Pada penentuan waktu reaksi, berdasarkan Nisa dan Putri (2014), waktu reaksi 1 jam pada pembuatan CMC dari kulit buah kakao menghasilkan CMC terbaik dengan derajat substitusi 0,10; pH 7,86; viskositas 6,33 cP; kadar air 13,51%; dan kecerahan 79,43%. Hasil penelitian Ayuningtyas *et al.* (2017), waktu reaksi 2 jam pada pembuatan CMC dari kulit pisang kepok menghasilkan CMC terbaik dengan derajat substitusi sebesar 0,73; pH 7,4; dan viskositas 12,41 cP. Hasil penelitian Silsia *et al.* (2018), waktu reaksi 3 jam pada pembuatan CMC dari pelepah kelapa sawit menghasilkan CMC terbaik dengan karakteristik Derajat substitusi 0,75; pH 8,32; kadar air 7,1%; viskositas 7,8 cP; dan kemurnian 92,62%.

4.2 Analisis Respon

Analisis respon dilakukan berdasarkan data aktual yang didapatkan saat penelitian terhadap 13 unit percobaan, hasil analisis respon CMC Jerami dengan *software Design Expert 13* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi data pengukuran respon

Kode Sampel	Respon						
	Rn ¹ (%)	pH ²	KA ³ (%)	DP ⁴ (%)	VS ⁵ (cP)	KN ⁶ (%)	KN ⁷ (%)
R1	25,04	7,36	5,14	75,63	5,73	81,05	18,95
R2	28,91	6,66	4,82	75,17	6,00	81,84	18,16
R3	26,89	6,72	3,83	77,12	6,27	76,65	23,35
R4	21,74	8,77	3,21	76,31	6,13	69,05	30,95
R5	23,66	8,42	5,12	73,37	6,53	95,10	4,90
R6	24,51	8,22	3,98	76,24	6,13	84,07	15,93
R7	26,23	7,47	5,11	77,00	5,73	80,84	19,16
R8	28,03	6,76	4,30	80,34	5,87	36,84	63,16
R9	27,97	6,87	3,66	77,24	7,07	62,50	37,50
R10	23,56	7,32	3,86	75,97	7,60	88,17	11,83
R11	23,50	7,09	4,92	73,26	6,40	87,06	12,94
R12	24,86	6,83	4,29	76,90	5,87	76,66	23,34
R13	25,68	7,39	4,39	76,71	6,93	64,41	35,59

Keterangan: ¹Rendemen, ²pH, ³Kadar Air, ⁴Derajat Putih, ⁵Viskositas, ⁶Kemurnian, ⁷Kadar NaCl.

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui bahwa rentang nilai rendemen, pH, kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian dan kadar NaCl masing-masing yaitu sebesar 21,74% hingga 28,91%; 6,66 hingga 8,77; 3,21% hingga 5,14%; 73,37%

hingga 80,34%; 5,73 cP hingga 7,60 cP; 36,84% hingga 95,10%; dan 4,90% hingga 63,16%. Hasil analisis yang diperoleh kemudian diterjemahkan ke dalam model persamaan matematis respon dan dapat digambarkan dengan menggunakan grafik permukaan tiga dimensi (3D). Beberapa model matematis yang dapat digunakan pada *software Design Expert* 13 yaitu model *linear*, 2FI (*two factor interaction*), *quadratic* dan *cubic*.

Model yang terpilih pada penelitian ini yaitu model *linear* untuk keseluruhan respon, hal ini didasarkan pada *sequential sum of summary* (uraian jumlah kuadrat), *lack of fit test* (uji ketidaktepatan model), dan *model summary statistics* (ringkasan model statistik). Selain itu, model *linear* dipilih karena model ini cukup baik untuk menggambarkan hubungan antara faktor dan respon dibandingkan dengan model yang lainnya yang dapat dilihat pada grafik 3D.

Pada *sequential sum of summary*, model yang dipilih yang memiliki nilai *p-value* yang paling kecil dibandingkan model lainnya. Model *linear* memiliki nilai *p-value* yang kecil pada keseluruhan respon. Pada respon rendemen dan pH, nilai *p-value* kurang dari 5% hal ini berarti model *linear* dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon rendemen dan pH, sedangkan pada pengujian kadar air, derajat putih, viskositas, kadar NaCl, dan kemurnian nilai *p-value* lebih dari 5% hal ini berarti model *linear* tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Walaupun pada respon kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl memiliki nilai *p-value* lebih dari 5%, nilai ini merupakan nilai yang paling kecil jika dibandingkan model lain.

Berdasarkan *lack of fit*, model yang dipilih yaitu model yang memiliki nilai *p-value* yang paling besar dibandingkan model lain. Model *linear* memiliki nilai *lack of fit* yang paling besar pada keseluruhan respon. Semua respon kecuali derajat putih memiliki nilai *p-value* lebih dari 5% sehingga model *linear* uji ketidaktepatan (*lack of fit*) tidak berpengaruh signifikan terhadap respon. Pada derajat putih, semua model menghasilkan *lack of fit* yang signifikan, akan tetapi model *linear* menghasilkan nilai *p-value* yang paling besar dibandingkan model lainnya.

Tabel 7. Hasil analisis model respon

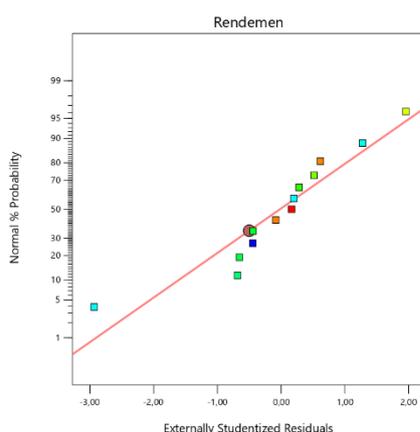
Respon	Model	<i>Sequential Model Sum of Squares</i>			<i>Lack of Fit</i>			<i>Model Summary Statistic</i>				
		f	p	Keterangan	f	p	Keterangan	SD	R ²	Adj R ²	Pred R ²	PRESS
Rendemen	<i>Linear</i>	29,53	<0,0001	Signifikan	0,2054	0,9569	Tidak signifikan	0,8798	0,8552	0,8262	0,7996	10,71
pH	<i>Linear</i>	9,45	0,0050	Signifikan	2,51	0,1958	Tidak signifikan	0,4447	0,6541	0,5849	0,3685	3,61
Kadar Air	<i>Linear</i>	0,617 0	0,5589	Tidak signifikan	1,84	0,2884	Tidak signifikan	0,6517	0,1098	-0,0682	-0,7172	8,19
Derajat Putih	<i>Linear</i>	6,48	0,1286	Tidak signifikan	9,85	0,0221	Signifikan	1,60	0,3365	0,2038	-0,4149	54,52
Viskositas	<i>Linear</i>	0,656 9	0,5395	Tidak signifikan	0,2771	0,9210	Tidak signifikan	0,5872	0,1161	-0,0607	-0,2749	4,97
Kemurnian	<i>Linear</i>	1,79	0,2164	Tidak signifikan	3,73	0,1115	Tidak signifikan	14,05	0,2637	0,1164	-0,5045	4034,31
Kadar NaCl	<i>Linear</i>	1,79	0,2166	Tidak signifikan	3,73	0,1115	Tidak signifikan	14,05	0,2636	0,1163	-0,5048	4035,10

Pada *model summary statistics*, model *linear* terpilih karena memiliki nilai standar deviasi (SD) yang minimal, nilai R^2 yang maksimal dan nilai PRESS (*Prediction Residuals Error Sum of Square*) yang minimal. Berdasarkan penilaian ini, model *linear* lebih memenuhi dibandingkan dengan model lainnya untuk respon rendemen, pH, kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl. Adapun tabel hasil analisis model respon dapat dilihat pada Tabel 7.

4.2.1 Analisis Respon Rendemen

Rendemen merupakan hasil ekstraksi yang diperoleh dibandingkan dengan jumlah bahan awal yang digunakan dalam kondisi kering, yang dinyatakan dalam satuan persen (%) (Ischak *et al.*, 2021). Rendemen merupakan salah satu parameter untuk mengetahui nilai ekonomis dan efektivitas suatu bahan pangan.

Berdasarkan Kumari *et al.* (2008), kurva *normal plot of residuals* menunjukkan hubungan antara nilai aktual dan nilai yang diprediksikan, jika data mendekati garis kenormalan maka respon menyebar normal. Kurva *normal plot of residuals* respon rendemen pada penelitian ini menggambarkan bahwa data tersebar mendekati garis kenormalan, yang berarti nilai aktual rendemen mendekati nilai yang diprediksikan oleh program *design expert* sehingga model ini dianggap terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon rendemen dapat dilihat pada Gambar 9.



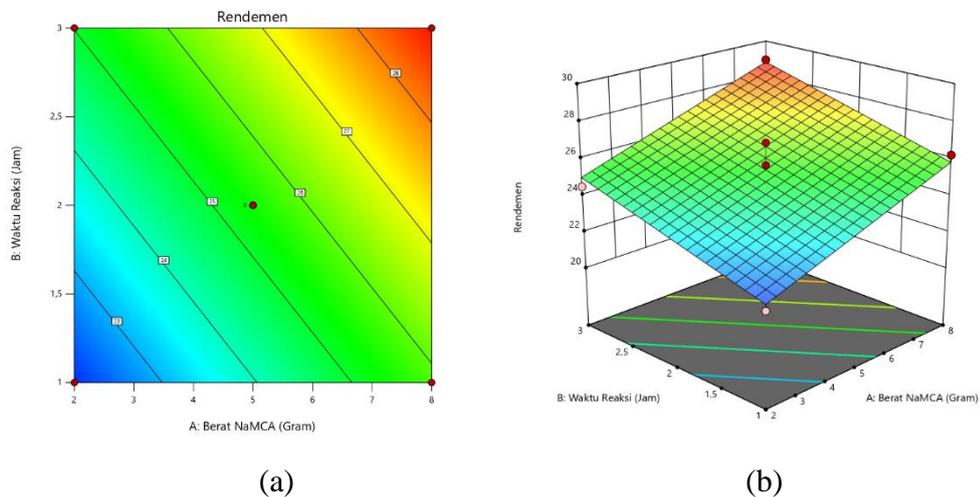
Gambar 9. Kurva *normal plot of residuals* respon rendemen

Persamaan regresi model *linear* dari respon Y (rendemen) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 25,43 + 1,88X_1 + 1,47X_2 \dots (1)$$

Berdasarkan persamaan (1), nilai respon rendemen pada CMC mengalami peningkatan seiring dengan penambahan NaMCA dan penambahan waktu reaksi yang ditandai dengan nilai positif pada kedua faktor, masing-masing bernilai 1,88 dan 1,47.

Grafik dua dimensi berupa grafik kontur plot, sumbu x menunjukkan variabel konsentrasi NaMCA (gram), sedangkan sumbu y menunjukkan variabel waktu reaksi (jam). Garis yang ada dalam kontur plot menunjukkan respon. Pada penelitian ini, garis yang terluar dengan warna biru menunjukkan nilai respon rendemen terendah dan semakin ke dalam dengan warna merah, garis menunjukkan nilai respon rendemen yang paling tinggi. Berdasarkan Indrayani (2018), pada grafik kontur apabila respon semakin mendekati area yang memiliki warna kuning ke oranye maka nilai optimasi dikatakan semakin baik. Mariana *et al.* (2017) menambahkan perubahan warna pada grafik menunjukkan bahwa penambahan perlakuan berpengaruh signifikan terhadap respon. Grafik kontur plot dan 3D *Surface* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Respon rendemen (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D *Surface*

Berdasarkan grafik 3D *Surface* respon rendemen dapat dilihat bahwa banyaknya NaMCA yang ditambahkan, akan menyebabkan rendemen menjadi

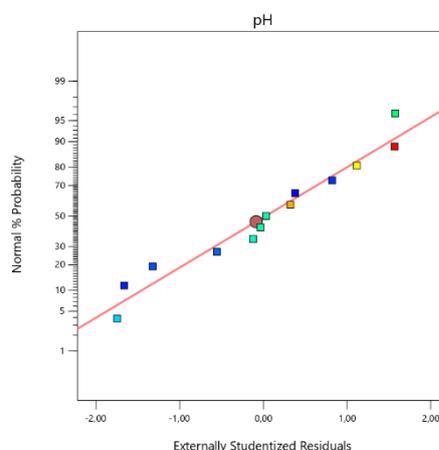
lebih tinggi, hal ini dikarenakan reagen natrium monokloroasetat tersubstitusi pada selulosa saat reaksi karboksimetilasi, sesuai dengan hasil penelitian Maulina *et al.* (2019), bahwa semakin banyak jumlah natrium monokloroasetat yang digunakan, maka nilai rendemen akan semakin meningkat. Wijayani *et al.* (2005) menambahkan bahwa pada proses karboksimetilasi digunakan reagen asam monokloroasetat atau natrium monokloroasetat. Jumlah natrium monokloroasetat yang digunakan akan berpengaruh terhadap substitusi dari unit anhidroglukosa pada selulosa. Faktor lama waktu reaksi juga menyebabkan perolehan rendemen CMC yang semakin banyak, kontak antara pelarut dan selulosa menyebabkan rendemen semakin tinggi. Menurut Yudharini *et al.* (2016), lama waktu ekstraksi terkait dengan kontak atau difusi antara larutan pengeksrak dengan bahan baku. Semakin lama kontak pelarut dan bahan tersebut akan diperoleh rendemen yang semakin tinggi. Safitri *et al.* (2017) menambahkan bahwa semakin lama waktu reaksi, maka akan semakin tinggi nilai rendemen. Hal ini dikarenakan terciptanya kondisi suhu dan waktu reaksi yang optimum sehingga memudahkan reaksi antara natrium monokloroasetat dengan selulosa. Semakin banyak gugus OH pada selulosa alkali yang digantikan dengan gugus karboksimetil sehingga semakin banyak CMC yang terbentuk.

4.2.2 Analisis Respon Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) adalah suatu satuan ukur yang menguraikan derajat tingkat kadar keasaman atau kadar alkali dari suatu larutan. Unit pH diukur pada skala 0 sampai 14. Pada prinsipnya pengukuran suatu pH adalah didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui (Astria *et al.*, 2014).

Kurva *normal plot of residuals* pada respon pH, menggambarkan bahwa nilai pH berada disekitar garis merah yang menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Setiap titik data yang paling mendekati garis kenormalan menunjukkan jika data tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual mendekati hasil yang diprediksikan oleh *design expert* sehingga model dianggap

terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon pH dapat dilihat pada Gambar 11.



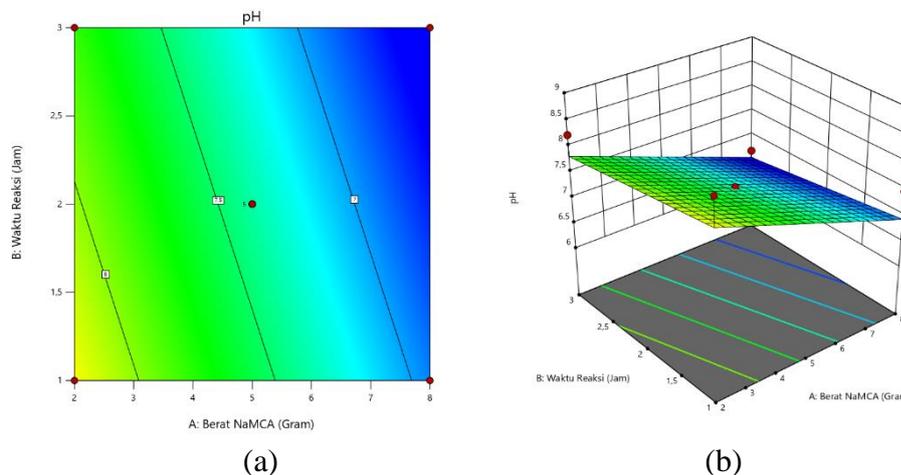
Gambar 11. Kurva *normal plot of residuals* respon pH

Persamaan regresi model *linear* dari respon Y (pH) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 7,38 - 0,6509 X_1 - 0,2089 X_2 \dots\dots(2)$$

Berdasarkan persamaan (2), nilai respon pH pada CMC mengalami penurunan seiring dengan penambahan NaMCA dan penambahan waktu reaksi, hal ini ditandai dengan nilai negatif pada kedua faktor, masing masing memiliki nilai -0,6509 dan -0,2089.

Grafik kontur plot respon pH pada penelitian ini berada pada warna biru hingga kuning. Garis warna biru pada grafik kontur plot ini menunjukkan nilai pH yang terendah, sedangkan garis warna kuning menunjukkan nilai pH yang tinggi. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa respon pH belum menunjukkan nilai respon yang maksimal karena skala warna kontur yang dihasilkan belum mencapai warna kuning ke oranye. Akan tetapi, jika dilihat dari perubahan warna pada grafik dapat dilihat bahwa penambahan NaMCA dan waktu reaksi cukup memberikan pengaruh signifikan terhadap pH. Adapun grafik kontur plot dan 3D *Surface* respon pH dapat dilihat pada Gambar 12.



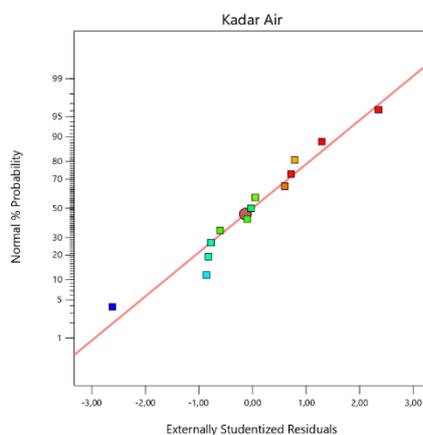
Gambar 12. Respon pH (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D *Surface*

Bentuk grafik permukaan atau 3D *Surface* respon pH dapat dilihat bahwa semakin banyak NaMCA dan waktu reaksi akan menyebabkan pH akan semakin rendah. Pada pengujian pH ini, yang paling mempengaruhi yaitu penambahan NaMCA. Hasil ini sesuai dengan Silsia (2018), penambahan asam trikloroasetat berpengaruh terhadap pH CMC, penggunaan asam trikloroasetat 20% menghasilkan pH yang tertinggi yaitu 8,32, sedangkan pH terendah di buat dari konsentrasi asam trikloroasetat 30% dengan nilai pH 7,48. Nilai pH dari CMC menjadi pertimbangan dalam penggunaannya. Jika pH terlalu rendah (<1) larutan menjadi tidak homogen karena terbentuk endapan. Berdasarkan Fatimah (2023), kenaikan maupun penurunan pH pada produk CMC dapat disebabkan saat proses netralisasi dalam penambahan asam asetat 90%. Pada proses penambahan asam asetat 90% juga perlu dilakukan pengadukan dengan rentang waktu minimal 1 menit agar proses netralisasi pada CMC dapat merata. Walaupun demikian, berdasarkan SNI 06-3736-1995 untuk CMC mutu 1, nilai pH berada pada kisaran 6-8, sedangkan standar menurut FAO berada di kisaran 6,0-8,5. CMC yang dihasilkan pada penelitian ini, hampir dari seluruh perlakuan sudah memenuhi syarat dari SNI dan FAO. Dari 13 satuan percobaan, hanya 1 variasi yang tidak memenuhi syarat dari FAO, yaitu CMC R4 perbandingan variasi NaMCA dan waktu reaksi 2:1 dengan nilai pH 8,77. Hal ini disebabkan karena proses netralisasi yang tidak maksimal sehingga pH CMC masih terlalu basa.

4.2.3 Analisis Respon Kadar Air

Air merupakan salah satu komponen terbesar dalam matriks pangan, dimana air memberikan dampak yang signifikan terhadap karakteristik dan stabilitas pangan. Kadar air merupakan jumlah air bebas ditambah air terikat yang terdapat dalam pangan. Pengukuran kadar air dapat digunakan untuk keperluan instruksi atau monitoring proses pengolahan pangan (Asiah dan Djaeni, 2021). Pengukuran dengan metode oven atau pengeringan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam suatu pangan dengan prinsip yaitu bahwa air yang terkandung dalam suatu bahan akan menguap bila bahan tersebut dipanaskan pada suhu 105°C selama waktu tertentu serta perbedaan antara berat sebelum dan sesudah dipanaskan adalah kadar air bahan tersebut (Prasetyo *et al.*, 2019).

Data hasil respon kadar air pada kurva *normal plot of residuals* menunjukkan bahwa nilai kadar air berada disekitar garis merah yang menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Setiap titik data yang paling mendekati garis kenormalan menunjukkan jika data tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual mendekati hasil yang diprediksikan oleh *design expert* sehingga model dianggap terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon kadar air dapat dilihat pada Gambar 13.

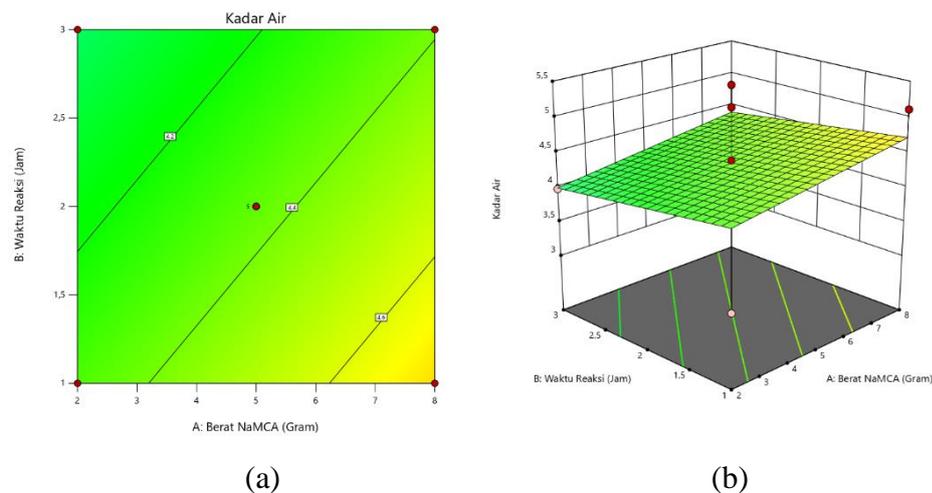


Gambar 13. Kurva *normal plot of residuals* respon kadar air

Persamaan regresi model *linear* dari respon Y (kadar air) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 4,36 + 0,1975X_1 - 0,1627X_2, \dots (3)$$

Berdasarkan persamaan (3), peningkatan nilai respon kadar air pada CMC dipengaruhi oleh NaMCA, hal ini ditandai dengan nilai positif dengan nilai koefisien sebesar 0,1975, sehingga semakin banyak NaMCA yang ditambahkan maka kadar air CMC semakin meningkat, sebaliknya untuk waktu reaksi menyebabkan penurunan kadar air yang ditandai dengan nilai negatif dengan nilai koefisien sebesar -0,1627. Semakin lama proses pemanasan menyebabkan CMC memiliki kadar air yang lebih sedikit.



Gambar 14. Respon kadar air (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D *Surface*

Grafik kontur plot respon kadar air pada penelitian ini berada pada warna hijau hingga kuning. Warna hijau pada grafik kontur plot menunjukkan nilai respon kadar air yang rendah, sedangkan warna kuning menunjukkan nilai respon kadar air yang tinggi pada penelitian ini. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa respon kadar air belum menunjukkan nilai respon yang maksimal karena skala warna kontur yang dihasilkan belum mencapai warna kuning ke oranye. Kemudian perubahan warna yang sedikit pada kurva menunjukkan penambahan NaMCA dan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air. Grafik kontur plot dan 3D *Surface* respon kadar air dapat dilihat pada Gambar 14.

Bentuk grafik 3D *Surface* respon kadar air dapat dilihat bahwa tinggi rendahnya respon kadar air CMC dipengaruhi oleh penambahan NaMCA, semakin banyak NaMCA yang ditambahkan maka kadar air semakin besar. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Masrullita *et al.* (2021), semakin tinggi konsentrasi

natrium monokloroasetat yang digunakan, kadar air CMC yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini berhubungan dengan kemampuan CMC yang dapat mengikat air. Kadar air tertinggi yaitu pada perlakuan konsentrasi natrium monokloroasetat 9 gram. Kemudian variabel waktu reaksi, semakin lama waktu reaksi, akan menyebabkan kadar air dari CMC akan cenderung semakin turun. Hal ini berkaitan dengan ikatan antara gugus selulosa. Berdasarkan Sutha *et al.* (2022), hasil nilai rata rata kadar air CMC menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses menyebabkan kadar air pada CMC cenderung mengalami penurunan. Ayuningtyas (2017) menambahkan bahwa semakin lama waktu reaksi menyebabkan jarak antara gugus selulosa semakin merenggang dan semakin melemahkan ikatan sehingga kemampuan CMC untuk mengikat air semakin menurun. Hasil kadar air pada penelitian CMC Jerami sebesar 3,21%-5,14%, nilai ini telah memenuhi persyaratan SNI beserta FAO. Berdasarkan SNI 06-3736-1995, standar mutu CMC yaitu mempunyai kadar air maksimal 10%. Kemudian berdasarkan FAO kadar air CMC harus memenuhi syarat <12%.

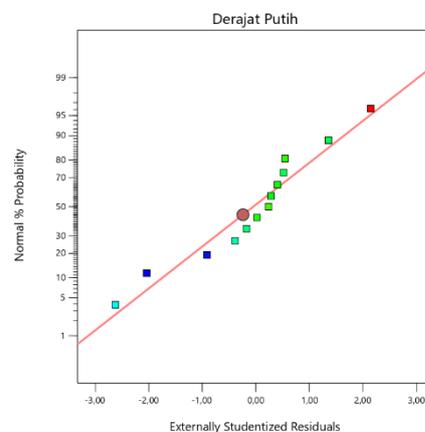
Menurut Wijayani *et al.* (2005), daya simpan CMC akan semakin berkurang apabila memiliki kadar air yang tinggi. Kualitas dan daya simpan CMC akan semakin menurun disebabkan kadar air yang tinggi yang memicu terjadinya kerusakan secara kimiawi maupun mikrobiologis. Oleh karena itu nilai kadar air yang sesuai akan memperpanjang umur simpan dari CMC. Agustina *et al.* (2019) menambahkan bahwa CMC merupakan bahan yang bersifat hidrofilik (suka air) dan higroskopis (menyerap air dari udara), karena adanya gugus fungsi karboksil dan hidroksil yang membentuk ikatan hidrogen dengan air di lingkungan. Kedua sifat ini menjadikan CMC memiliki batasan kadar air yang rendah tidak lebih dari 10%, karena akan berpengaruh terhadap bentuk fisik dari CMC.

4.2.4 Analisis Respon Derajat Putih

Penentuan derajat putih Na-CMC yang dihasilkan dapat dilakukan dengan alat kromameter. Terdapat 3 parameter satuan warna utama yang dilihat, yaitu L* (Lightness) yang menggambarkan kecerahan, b* menunjukkan koordinat derajat warna kuning hingga biru, dan a* menunjukkan koordinat derajat warna hijau hingga merah (Priatni, 2019). Pada pengujian di laboratorium, derajat putih seringkali

diukur untuk mengetahui warna suatu produk yang dihasilkan. Derajat putih juga merupakan parameter yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan konsumen, karena penilaian warna dapat dinilai secara langsung pada saat konsumen mempertimbangkan pembelian suatu bahan pangan.

Data hasil respon derajat putih pada kurva *normal plot of residuals* menunjukkan bahwa nilai derajat putih cukup berada disekitar garis merah yang menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil aktual dianggap terdistribusi normal. Kurva *normal plot of residuals* respon derajat putih dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Kurva *normal plot of residuals* respon derajat putih

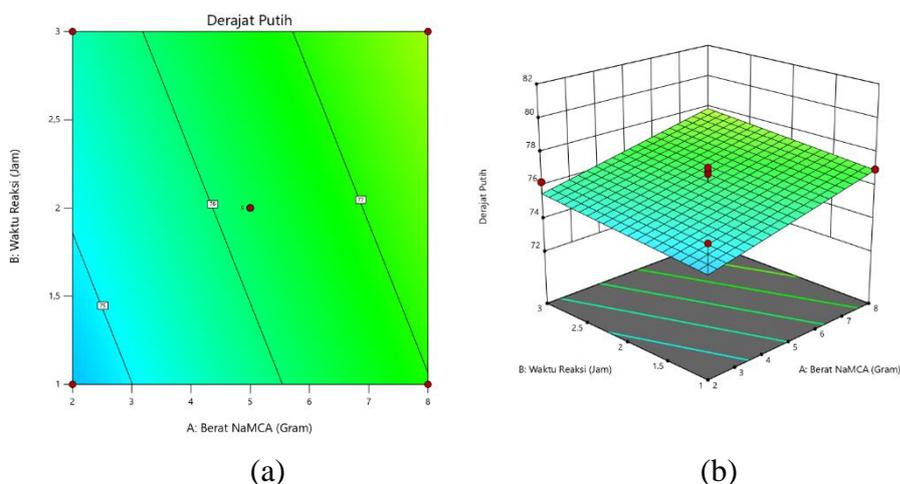
Persamaan regresi model *linear* dari respon Y (derajat putih) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 76,25 + 1,18X_1 + 0,4661X_2 \dots (4)$$

Berdasarkan persamaan (4), peningkatan nilai respon derajat putih pada CMC dipengaruhi oleh penambahan NaMCA dan waktu reaksi, hal ini ditandai dengan nilai positif. Akan tetapi, penambahan NaMCA lebih mempengaruhi derajat putih CMC dibandingkan dengan waktu reaksi, hal ini dikarenakan koefisien NaMCA lebih besar (1,18) dibandingkan waktu reaksi (0,4661). Sehingga penambahan NaMCA dan waktu reaksi yang semakin lama akan menyebabkan warna CMC lebih putih.

Grafik kontur plot respon derajat putih pada penelitian ini berada pada warna biru hingga hijau. Warna biru pada grafik kontur plot menunjukkan nilai

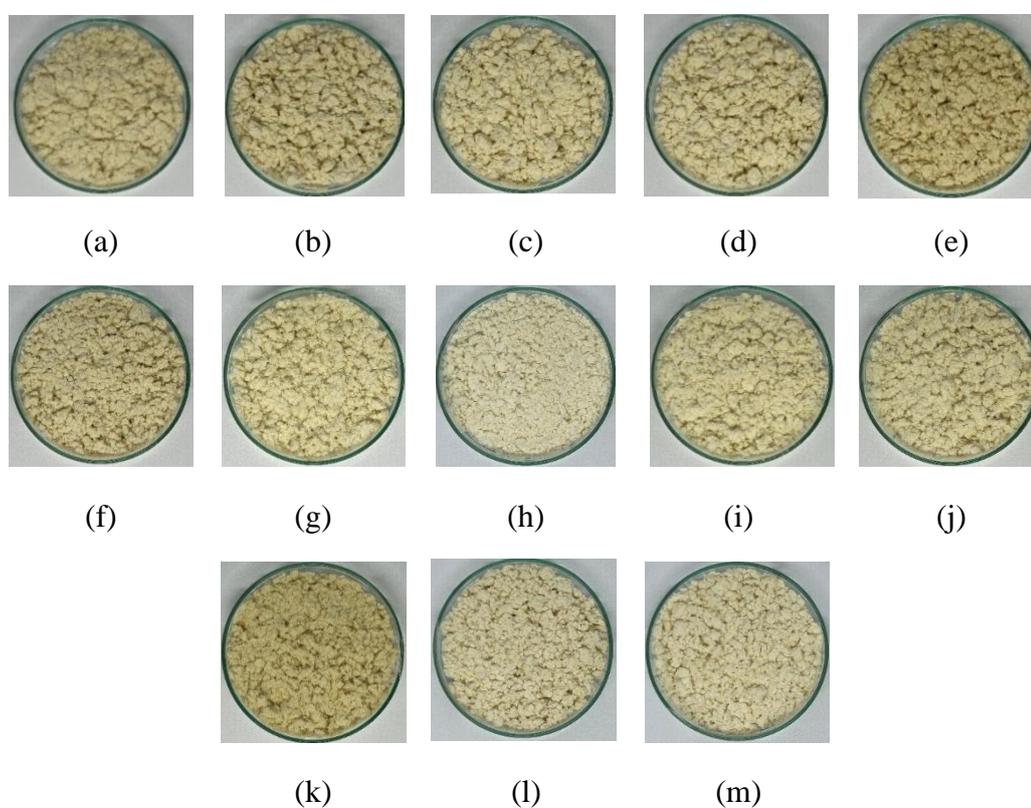
respon derajat putih yang rendah, sedangkan warna hijau menunjukkan nilai respon derajat putih yang tinggi pada penelitian ini. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa respon derajat putih belum menunjukkan nilai respon yang maksimal karena skala warna kontur yang dihasilkan belum mencapai warna kuning ke oranye. Perubahan warna yang sedikit pada kurva menunjukkan penambahan NaMCA dan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap derajat putih. Grafik kontur plot dan 3D *Surface* respon derajat putih dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Respon derajat putih (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D *Surface*

Grafik 3D *Surface* respon derajat putih dapat dilihat bahwa variabel NaMCA dan waktu reaksi mempengaruhi respon. Semakin banyak NaMCA ditambahkan, dan semakin lama waktu reaksi, menyebabkan derajat putih semakin meningkat. Warna dari NaMCA yang berbentuk serbuk putih, saat ditambahkan pada CMC akan menyebabkan warna dari CMC yang awalnya kekuningan menjadi berwarna lebih putih. Selain itu, derajat putih CMC dapat dipengaruhi oleh kandungan lignin yang ada pada selulosa. Berdasarkan Wijayani *et al* (2005), perbedaan nilai derajat putih dapat dipengaruhi oleh reaksi pencoklatan dalam proses pembuatan CMC, selain itu juga masih adanya lignin pada selulosa, menyebabkan warna CMC yang kekuningan. Berdasarkan Kodri *et al*. (2013), kandungan lignin yang ada pada padi varietas Ciherang yaitu sebesar 7,93%. Semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak lignin yang hilang, sehingga kandungan lignin dalam selulosa semakin berkurang. Sumanda *et al*. (2011)

menyatakan bahwa pemanasan dan pengadukan menyebabkan rantai lignin yang panjang pada sampel dapat terdegradasi menjadi rantai lignin pendek. Degradasi rantai lignin memudahkan lignin larut dalam air atau alkali pada proses pencucian. Produk CMC yang dihasilkan ini secara visual berwarna coklat muda dan cenderung kearah kuning dengan tekstur seperti kapas. Kecerahan CMC yang paling besar yaitu 80,34% dihasilkan pada penambahan NaMCA sebesar 9,24264 dengan lama waktu reaksi 2 jam. Produk CMC jerami pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. CMC hasil penelitian (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6, (g) R7, (h) R8, (i) R9, (j) R10, (k) R11, (l) R12, (m) R13

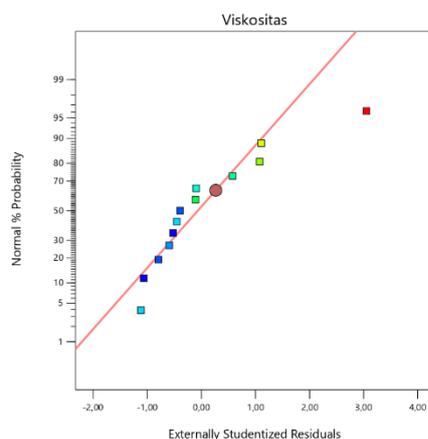
Kecerahan CMC juga dipengaruhi oleh tahapan pemutihan dengan menggunakan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) pada saat pembuatan selulosa. Proses pemutihan ini dapat menghilangkan kandungan lignin dan pengotor pada selulosa. Berdasarkan Rachmawaty *et al.* (2013), pemutihan serat dilakukan menggunakan larutan NaOCl . Ion hipoklorit yang dimiliki NaOCl merupakan

oksidator kuat yang mampu memecahkan ikatan eter dalam struktur lignin, akibatnya derajat keputihan serat naik secara signifikan.

4.2.5 Analisis Respon Viskositas

Viskositas disebut juga dengan istilah kekentalan. Kekentalan suatu zat merupakan faktor utama yang dapat mempengaruhi daya mengalirnya suatu cairan. Semakin kental suatu zat maka kecepatan mengalirnya akan semakin rendah begitupun juga sebaliknya. Kekentalan pada zat cair ini disebabkan oleh adanya gaya kohesi yaitu gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Jadi, viskositas merupakan suatu pernyataan tahanan dari suatu cairan untuk mengalir. Semakin tinggi viskositas, maka semakin besar tahanannya (Hardani *et al.*, 2022).

Data hasil respon viskositas pada kurva *normal plot of residuals* menunjukkan bahwa rata-rata nilai viskositas berada disekitar garis merah yang menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Setiap titik data yang paling mendekati garis kenormalan menunjukkan jika data tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual mendekati hasil yang diprediksikan oleh *design expert* sehingga model dianggap terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon viskositas dapat dilihat pada Gambar 18.

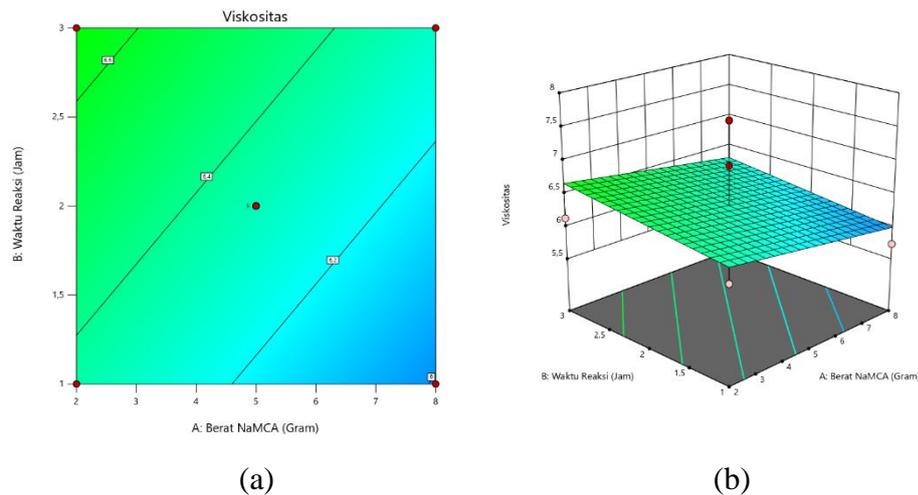


Gambar 18. Kurva *normal plot of residuals* respon viskositas

Persamaan regresi model *Linear* dari respon Y (viskositas) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 6,33 - 0,1829X_1 + 0,1522X_2 \dots (5)$$

Berdasarkan persamaan (5), peningkatan nilai respon viskositas pada CMC dipengaruhi oleh waktu reaksi, hal ini ditandai dengan nilai positif sebesar 0,1522. Sehingga semakin lama waktu reaksi akan menyebabkan viskositas CMC semakin meningkat, sedangkan penambahan NaMCA yang semakin banyak akan menyebabkan penurunan viskositas, ditandai dengan nilai negatif dengan nilai - 0,1829.



Gambar 19. Respon viskositas (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D Surface

Grafik kontur plot respon viskositas pada penelitian ini berada pada warna biru hingga hijau. Warna biru pada grafik kontur plot menunjukkan nilai viskositas yang rendah, sedangkan warna hijau menunjukkan nilai viskositas yang tinggi pada penelitian ini. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa respon viskositas belum menunjukkan nilai respon yang maksimal karena skala warna kontur yang dihasilkan belum mencapai warna kuning ke oranye. Perubahan warna yang sedikit pada kurva menunjukkan penambahan NaMCA dan waktu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap viskositas. Grafik kontur plot dan 3D Surface respon viskositas dapat dilihat pada Gambar 19.

Grafik 3D Surface respon viskositas dapat dilihat bahwa penambahan NaMCA menyebabkan viskositas mengalami penurunan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Saputra (2024), nilai viskositas CMC batang pamping mengalami kenaikan setiap penambahan NaMCA yang diberikan. Namun, semakin banyak NaMCA yang ditambahkan, terjadi penurunan nilai viskositas. Yasar *et al.* (2007)

menambahkan bahwa sifat hidrofilik pada CMC dapat dikontrol dengan jumlah gugus karboksimetil yang terikat pada CMC. Oleh karena itu, kondisi lingkungan yang optimum dalam sintesis CMC dapat meningkatkan nilai viskositas CMC yang dihasilkan. Penambahan waktu reaksi dapat menyebabkan kenaikan viskositas. Kenaikan viskositas ini terjadi karena semakin lama waktu reaksi menyebabkan larutan lebih homogen, dan larutan lebih transparan. Sesuai dengan Altunina *et al.* (2001), perpanjangan waktu karboksimetilasi menghasilkan viskositas yang lebih tinggi, hal ini berhubungan dengan kelarutan eter dan kandungan sedimen tersuspensi dalam larutan. Semakin lama, eter semakin larut dan larutan akan semakin transparan.

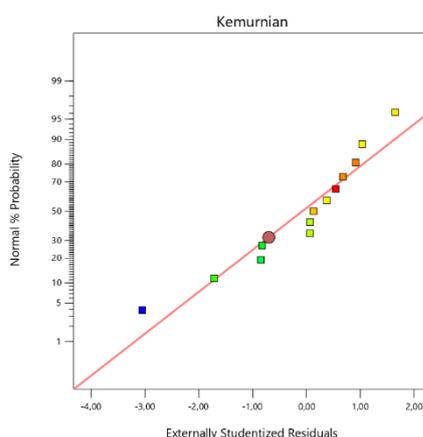
Selain itu juga, hal yang mempengaruhi viskositas adalah derajat polimerisasi. Berdasarkan Kentjana (1996) menambahkan bahwa derajat polimerisasi menunjukkan banyaknya jumlah rantai polimer, semakin panjang rantai molekul CMC, derajat polimerisasinya semakin tinggi, maka larutan yang diperoleh semakin kental (viskositas meningkat). Selain itu juga, penggunaan konsentrasi NaOH yang terlalu kecil menyebabkan kurang membantu terjadinya reaksi karboksimetilasi karena tidak dapat mengembangkan selulosa dengan sempurna sehingga derajat substitusinya kecil dan viskositasnya juga kecil. Pada penelitian ini, konsentrasi NaOH sebesar 10%, hal ini menyebabkan viskositas CMC terlalu kecil. Pada penelitian CMC Jerami ini, nilai viskositas yang diperoleh belum memenuhi standar. Berdasarkan *Food Chemical Codex* nilai viskositas yang baik untuk bahan pangan adalah ≥ 25 cP.

4.2.6 Analisis Respon Kemurnian

Kemurnian dari CMC dipengaruhi oleh banyaknya produk samping yang dihasilkan pada proses sintesis CMC. Semakin sedikit produk samping yang dihasilkan maka semakin tinggi kemurnian CMC yang dihasilkan. Produk samping yang dihasilkan yaitu natrium glikolat dan natrium klorida (Pitaloka *et al.*, 2015). Kemurnian CMC dapat diketahui dengan cara 100% dikurangi dengan kadar NaCl (Wijayani *et al.*, 2005).

Data hasil respon kemurnian pada kurva *normal plot of residuals* menunjukkan bahwa nilai kemurnian berada disekitar garis merah yang

menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Setiap titik data yang paling mendekati garis kenormalan menunjukkan jika data tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual mendekati hasil yang diprediksikan oleh *design expert* sehingga model dianggap terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon derajat putih dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Kurva *normal plot of residuals* respon kemurnian

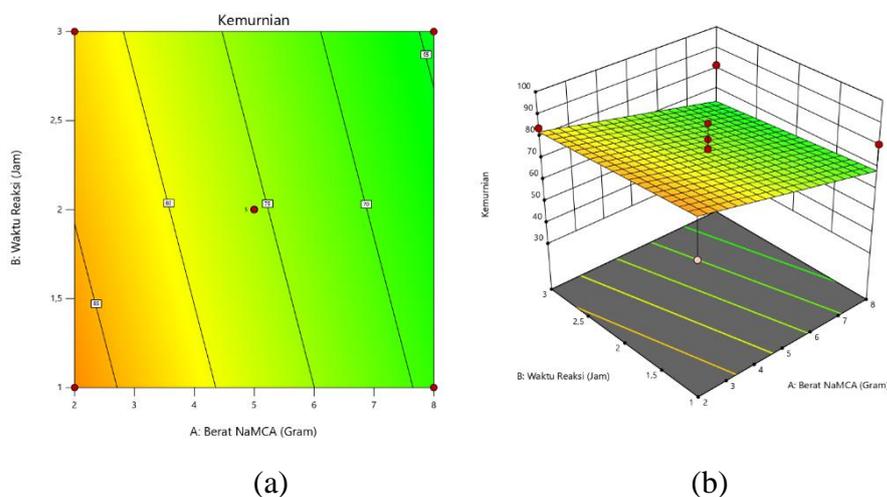
Persamaan regresi model *linear* dari respon Y (kemurnian) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 75,71 - 9,11X_1 - 2,34X_2 \dots \dots (6)$$

Berdasarkan persamaan (6), penambahan antara NaMCA dan waktu reaksi akan menyebabkan penurunan nilai respon kemurnian, semakin banyak NaMCA yang ditambahkan, serta semakin lama waktu reaksi maka kemurnian CMC semakin menurun yang ditandai dengan nilai negatif dengan nilai masing-masing sebesar -9,11, dan -2,34.

Grafik kontur plot respon kemurnian pada penelitian ini berada pada warna hijau hingga oranye. Warna hijau pada grafik kontur plot menunjukkan nilai kemurnian yang rendah, sedangkan warna oranye menunjukkan nilai kemurnian yang tinggi pada penelitian ini. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa optimasi cukup optimal karena warna kontur mendekati kuning ke oranye, akan tetapi hasil analisis belum mencapai titik yang maksimal (berwarna merah). Jika dilihat dari perubahan warna, grafik ini menunjukkan perubahan warna yang sedikit sehingga penambahan NaMCA dan kadar air tidak berpengaruh signifikan terhadap

kemurnian. Grafik kontur plot dan 3D *Surface* respon kemurnian dapat dilihat pada Gambar 21.



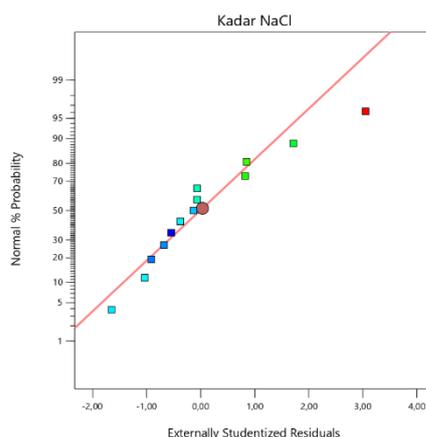
Gambar 21. Respon kemurnian (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D *Surface*

Grafik 3D *Surface* respon kemurnian diketahui bahwa grafik permukaan semakin turun seiring dengan penambahan NaMCA serta peningkatan waktu reaksi. Hasil ini kebalikan dari kadar NaCl. Menurut pada Wijayani *et al.* (2005), kemurnian dari CMC akan mengalami penurunan jika jumlah natrium monokloroasetat semakin naik. Hal ini diakibatkan oleh semakin banyaknya natrium klorida dan natrium glikolat yang terbentuk. Hutomo (2012) menambahkan bahwa semakin lama waktu reaksi, kemurnian CMC juga semakin turun. Hal ini berhubungan dengan penggunaan asam trikloroasetat 30% dan semakin lama waktu reaksi maka semakin banyak natrium klorida dan natrium glikonat yang terbentuk. Kemurnian CMC yang masih rendah disebabkan oleh teknik pemurnian yang masih sederhana, sehingga diperlukan teknik pemurnian yang lebih baik. Pitaloka *et al.* (2015), menyatakan bahwa kemurnian CMC yang tidak terlalu tinggi ini erat hubungannya dengan kondisi selulosa yang membentuk struktur kristalin lain seperti dijelaskan sebelumnya. Jika selulosa sulit ditembus oleh reagen karboksimetilasi (NaMCA), maka reagen tersebut sebagian besar akan tetap berada dalam media reaksi dan kemudian bereaksi dengan NaOH membentuk produk samping Na-glikolat dan NaCl. Kemurnian CMC Jerami pada penelitian ini yaitu berkisar 36,86% hingga 95,1%. Hasil ini belum sesuai standar mutu golongan I SNI

06-3736-1995, kadar minimal kemurnian CMC mutu I yaitu $\geq 99,5\%$. Akan tetapi rata-rata nilai pada penelitian ini masih masuk kedalam mutu golongan II yang mengharuskan minimal kemurnian sebesar 65,0%. Walaupun demikian, kemurnian CMC jerami ini, untuk hasil kemurnian tertingginya lebih besar dibandingkan dengan CMC eceng gondok hasil penelitian Pitaloka *et al.* (2015), yang hanya mencapai 90,9%.

4.2.7 Analisis Respon Kadar NaCl

Tujuan dari penentuan kadar NaCl berkaitan dengan kemurnian CMC, dengan mengetahui kadar NaCl maka kemurnian dapat diketahui dan ini artinya semakin kecil kadar NaCl, maka kemurnian akan semakin besar. Terbentuknya NaCl ini karena adanya reaksi antara natrium monokloroasetat dengan alkali selulosa (Wijayani *et al.*, 2005). Metode yang digunakan untuk mengetahui seberapa banyak kadar NaCl yaitu dengan menggunakan metode Mohr. Metode Mohr digunakan untuk mengonfirmasi jumlah bahan kimia dalam larutan dan diterapkan untuk menguji keberadaan NaCl dalam CMC. Prinsip kerja metode Mohr ini, kadar NaCl diukur dengan cara menitrasi ion klorida yang terkandung dalam NaCl menggunakan larutan AgNO_3 , sementara K_2CrO_4 digunakan sebagai indikator reaksi (Dimawarnita *et al.*, 2019).



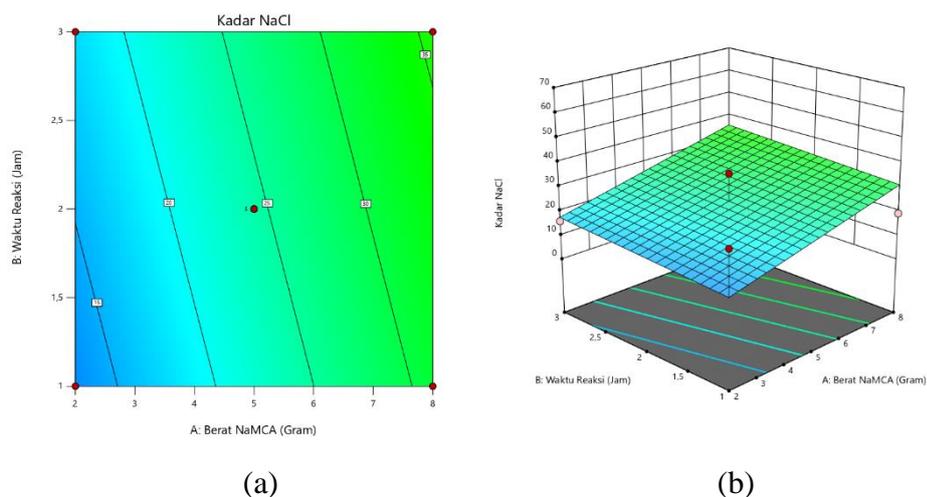
Gambar 22. Kurva *normal plot of residuals* respon kadar NaCl

Persamaan regresi model *Linear* dari respon Y (kadar NaCl) yang dipengaruhi konsentrasi NaMCA (X_1) dan waktu reaksi (X_2) adalah sebagai berikut:

$$Y = 24,29 + 9,10X_1 + 2,34X_2 \dots (7)$$

Data hasil respon kadar NaCl pada kurva *normal plot of residuals* menunjukkan bahwa rata-rata nilai kadar NaCl berada disekitar garis merah yang menandakan bahwa data terdistribusi secara normal. Setiap titik data yang paling mendekati garis kenormalan menunjukkan jika data tersebut menyebar normal, yang berarti hasil aktual mendekati hasil yang diprediksikan oleh *design expert* sehingga model dianggap terdistribusi secara normal. Kurva *normal plot of residuals* respon derajat putih dapat dilihat pada Gambar 22.

Berdasarkan persamaan (7), penambahan antara NaMCA dan waktu reaksi akan menyebabkan kenaikan nilai respon kadar NaCl, semakin banyak NaMCA yang ditambahkan, serta semakin lama waktu reaksi maka kadar NaCl semakin tinggi yang ditandai dengan nilai negatif dengan nilai masing-masing sebesar 9,11, dan 2,34.



Gambar 23. Respon kadar NaCl (a) Grafik kontur plot dan (b) 3D Surface

Grafik kontur plot respon kadar NaCl pada penelitian ini berada pada warna biru hingga hijau. Warna biru pada grafik kontur plot menunjukkan nilai kadar NaCl yang rendah, sedangkan warna hijau menunjukkan nilai NaCl yang tinggi pada penelitian ini. Pada kontur tersebut dapat dilihat bahwa respon kadar NaCl belum menunjukkan nilai respon yang maksimal karena skala warna kontur yang dihasilkan belum mencapai warna kuning ke oranye. Perubahan warna yang sedikit pada kurva menunjukkan penambahan NaMCA dan waktu reaksi tidak memberikan

pengaruh yang signifikan terhadap kadar NaCl. Grafik kontur plot dan 3D *Surface* respon kadar NaCl dapat dilihat pada Gambar 23.

Grafik 3D *Surface* respon derajat putih menunjukkan bahwa semakin banyak NaMCA dan waktu reaksi yang semakin lama, maka menyebabkan kadar NaCl semakin besar. Hal ini berarti produk samping berupa natrium klorida dan Natrium glikonat semakin banyak. Ini berkaitan dengan kemurnian, semakin besar kadar NaCl maka kemurnian semakin kecil. Hasil penelitian ini sesuai dengan Melisa (2005), yang menyatakan bahwa bahwa penambahan 8 sampai 10 gram NaMCA menyebabkan semakin banyaknya produk samping yang terbentuk seperti NaCl. Pushpamalar *et al.* (2006) menambahkan bahwa pada kondisi lingkungan optimum, sintesis CMC akan terbentuk NaCl sebagai produk lain dari reaksi esterifikasi gugus hidroksil alkali selulosa dengan gugus karboksimetil pada natrium monokloroasetat. Pembentukan NaCl akan bertambah kadarnya, jika reaksi produk samping ikut terjadi dan juga menghasilkan produk sampingan lainnya yaitu natrium glikolat. Keberadaan NaCl dan natrium glikolat yang terlalu tinggi pada CMC akan mempengaruhi tingkat kemurnian CMC itu sendiri. Penurunan kadar NaCl dan natrium glikolat pada CMC dapat dilakukan melalui proses pencucian dalam sintesis CMC. Proses pencucian dalam CMC dilakukan setelah proses netralisasi dengan asam asetat glasial menggunakan pelarut metanol atau etanol. Pada penelitian ini, dilakukan pencucian menggunakan etanol, akan tetapi mungkin pencucian kurang optimal sehingga CMC yang dihasilkan masih banyak produk samping. Hasil kadar NaCl pada penelitian CMC Jerami ini belum memenuhi standar persyaratan CMC mutu I. Berdasarkan SNI, kadar NaCl untuk kategori CMC mutu I sebesar 0,25% dan kategori CMC mutu II tidak ada batasan kadar NaCl.

4.3 Optimasi Formula

Optimasi formula bertujuan untuk mendapatkan variasi terbaik yang menghasilkan respon optimal dalam pembuatan CMC. Setiap respon dalam proses pengoptimasian diberikan pembobotan kepentingan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Pembobotan kepentingan (*importance*) diberi nilai 1 (+) hingga 5 (+++++) disesuaikan dengan tingkat pentingnya respon yang mempengaruhi

formula. Semakin banyak tanda positif yang diberikan menunjukkan tingkat kepentingan respon yang semakin tinggi. Berikut ini komponen yang dioptimasi, nilai target, batas, dan kepentingan pada tahapan optimasi formula dengan menggunakan program *Design Expert* yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Pada Tabel 8, penentuan pada respon rendemen dipilih *goal maximize* dengan taraf kepentingan 5 (+++++) karena penelitian ini ingin mendapatkan nilai rendemen yang paling tinggi, mengingat rendahnya hasil rendemen CMC sehingga dipilih hasil yang maksimal. Respon pH dan kadar air dipilih *goal in range* dengan taraf kepentingan 5 (+++++) karena hasil analisis variasi masih masuk kedalam standar SNI CMC.

Tabel 8. Kriteria respon yang dioptimasi

Nama Respon	Goal	Batas Bawah	Batas Atas	Kepentingan
Berat NaMCA (Gram)	<i>in range</i>	2	8	+++++
Waktu reaksi (Jam)	<i>in range</i>	1	3	+++++
Rendemen (%)	<i>maximize</i>	21,74	28,91	+++++
pH	<i>in range</i>	6,66	7,47	+++++
Kadar air (%)	<i>in range</i>	3,21	5,14	+++++
Derajat Putih (%)	<i>maximize</i>	73,26	80,34	+++
Viskositas (cP)	<i>maximize</i>	5,73	7,60	+++
Kemurnian (%)	<i>maximize</i>	36,84	95,10	+++++
Kadar NaCl (%)	<i>minimize</i>	4,90	63,16	+++++

Respon derajat putih dan viskositas dipilih *goal maximize* dengan taraf kepentingan 3 (+++), derajat putih dipilih karena produk CMC yang dihasilkan harapannya memiliki tingkat keputihan yang tinggi karena derajat putih berhubungan dengan daya terima konsumen. Pada respon viskositas, hasil penelitian memiliki nilai viskositas yang lebih rendah daripada standar FAO sehingga dipilih *goal maximize* untuk memaksimalkan nilai viskositas saat dilakukan optimasi.

Respon kemurnian dan kadar NaCl dipilih dengan taraf kepentingan 5 (+++++) karena dengan melihat hal ini, dapat diketahui kualitas CMC yang dihasilkan murni atau tidak. Harapannya dengan memilih taraf kepentingan tertinggi, maka CMC hasil optimasi kualitasnya sesuai dengan standar SNI.

Kemurnian dan kadar NaCl saling berkaitan. Semakin besar kemurnian, maka kadar NaCl semakin rendah. Oleh karena itu *goal maximize* dipilih untuk kemurnian dan *goal minimize* dipilih untuk kadar NaCl.

Berdasarkan hasil analisis pada setiap parameter penelitian, didapatkan 1 formula optimum dari hasil optimasi dengan menggunakan *Design Expert*. Nilai target optimasi yang dapat dicapai dikenal dengan istilah nilai *desirability* yang ditunjukkan dengan nilai 0-1. Menurut Nurmiah *et al.* (2013), pada tahap optimasi dalam program RSM formula optimal ditentukan dari nilai *desirability* yang paling maksimum. Nilai *desirability* mendekati 1 menunjukkan fungsi optimasi yang baik, dimana program dapat memenuhi tujuan berdasarkan kriteria yang diinginkan pada produk akhir. Formula optimum terpilih terdiri dari nilai konsentrasi Natrium Monokloroasetat (NaMCA) sebesar 4,402 gram, dan waktu reaksi selama 3 jam. Formula optimum terpilih memiliki derajat *desirability* 0,588.

4.4 Verifikasi Formula

Setelah dilakukan tahap optimasi dengan menggunakan program *Design Expert*, dilakukan tahap verifikasi. Tahap verifikasi bertujuan untuk melakukan pembuktian terhadap prediksi dari nilai respon solusi formula optimum yang diberikan oleh program *Design Expert*. Formula optimal yang dilakukan verifikasi yaitu dengan penambahan natrium monokloroasetat (NaMCA) sebesar 4,402 gram, dan waktu reaksi selama 3 jam. Data hasil verifikasi titik optimal dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Verifikasi formula optimal

No.	Respon	Hasil Pengukuran	95% PI low	95% PI high
1	Rendemen (%)	25,31	24,37	28,68
2	pH	7,58	6,21	8,38
3	Kadar air (%)	4,12	2,55	5,75
4	Derajat Putih (%)	74,23	72,57	80,39
5	Viskositas (cP)	6,80	5,08	7,96
6	Kemurnian (%)	94,09	40,79	109,58
7	Kadar NaCl (%)	5,91	-9,58	59,21

Hasil verifikasi menunjukkan bahwa nilai rendemen sebesar 25,31%; pH sebesar 7,58; kadar air sebesar 4,12%; derajat putih sebesar 74,23%; viskositas sebesar 6,8 cP; kemurnian sebesar 94,09%; dan kadar NaCl sebesar 5,91. Berdasarkan verifikasi yang diperoleh, dapat diketahui bahwa data hasil verifikasi masih sesuai dengan prediksi yang dibuat oleh program pada respon rendemen, pH, kadar air, derajat putih, viskositas, kemurnian, dan kadar NaCl. Hal ini ditunjukkan oleh semua respon yang memenuhi 95% *prediction interval*. Sesuai dengan Nurmiah *et al.* (2013), bahwa model dapat dikatakan cukup tepat dan sesuai jika hasil verifikasi sesuai dengan nilai prediksi di kisaran 95% PI *low* dan 95% PI *high*.

4.5 Analisis Sampel Terbaik

Dari 13 perlakuan percobaan, tidak semua sampel dilakukan pengujian FTIR dan SEM. Sampel yang dipilih untuk dilakukan pengujian FTIR dan SEM hanya sampel dengan kemurnian tertinggi dan sampel dengan rendemen tertinggi. Hasil ini didapatkan setelah data analisis diolah dalam *software Design Expert*. Sampel terpilih dengan kemurnian tertinggi yaitu sampel kode R5 dengan natrium monokloroasetat (NaMCA) sebesar 0,757359 gram dan waktu reaksi selama 2 jam, sedangkan sampel terpilih dengan rendemen tertinggi yaitu sampel kode R2 dengan natrium monokloroasetat (NaMCA) sebesar 8 gram dan waktu reaksi selama 3 jam. Berikut ini pengujian FTIR dan SEM dari dua sampel terbaik.

4.5.1 Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*)

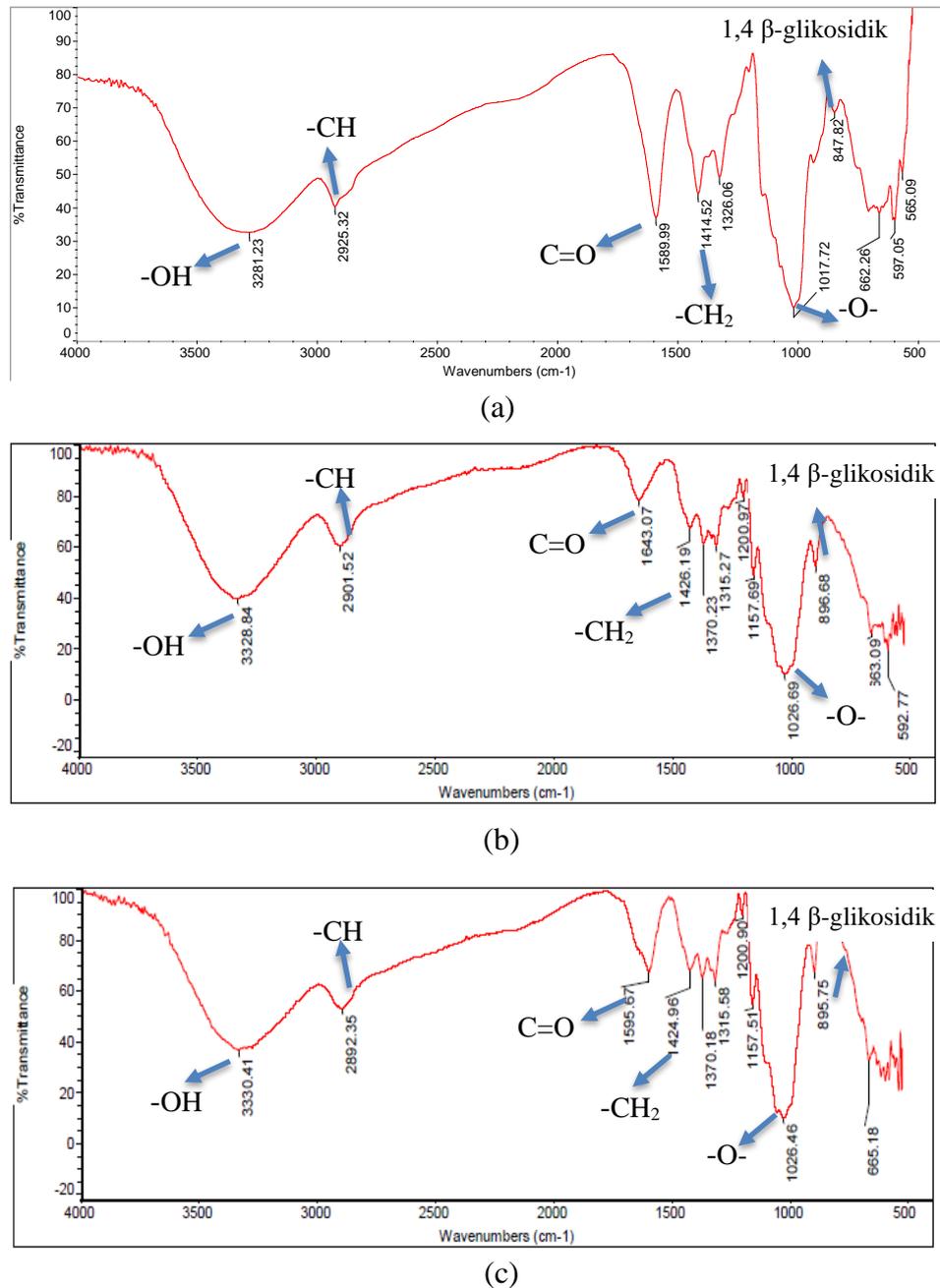
Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) merupakan salah satu metode analisis untuk mengkarakterisasi suatu sampel dalam penentuan komponen organik, ikatan kimia, serta gugus fungsi pada sampel. Sampel FTIR yang dianalisis, dikenai dengan sinar infra merah yang menghasilkan getaran atom suatu molekul dalam sampel. Getaran atom yang terjadi sebagai akibat dari penyerapan atau transmisi energi tertentu yang menghasilkan puncak serapan pada bilangan gelombang tertentu yang mewakili gugus fungsi penyusun dari sampel tersebut (Nandiyanto *et al.*, 2019). Tabel nilai bilangan FTIR dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan nilai bilangan gelombang sampel terpilih dan kontrol

Gugus Fungsi	Nilai Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	CMC Komersil*	CMC Sampel R5	CMC Sampel R2
-OH	3281,23	3328,84	3330,41
-CH	2925,32	2901,52	2892,35
C=O	1589,99	1643,07	1595,67
-CH ₂	1414,52	1426,19	1424,96
-O-	1017,72	1026,69	1026,69
β-1,4 glikosidik	847,82	896,68	895,75

Berdasarkan Nandiyanto *et al.* (2019), secara umum posisi gugus fungsi pada spektrum FTIR dapat dikelompokkan menjadi 4 rentang bilangan gelombang, yaitu pada (1) 4000-2500 cm⁻¹ yang mengindikasikan gugus fungsi rantai tunggal (OH, NH, dan CH), (2) 2500-2000 cm⁻¹ terkait gugus fungsi rangkap tiga (C≡C, C≡N), (3) 2000-1500 cm⁻¹ gugus fungsi rangkap dua (C=C, C=O, dan C=N), dan (4) daerah sidik jari pada 1500-400 cm⁻¹.

Ciri karboksimetil selulosa dapat dilihat dari adanya gugus hidroksil (-OH), Ikatan -CH, gugus karboksil (C=O), Ikatan -CH₂, dan gugus eter (-O-). Hasil analisis FTIR pada penelitian ini dibandingkan dengan CMC komersial sebagai kontrol. Spektrum FTIR sampel CMC komersial dapat dilihat pada Gambar 24.(a), dalam spektrum tersebut munculnya bilangan gelombang 3281,23 cm⁻¹, hal ini menandakan bahwa terdapat gugus -OH sebagai ciri khas selulosa. Selanjutnya terbacanya spektrum pada bilangan gelombang 2925,32 cm⁻¹, menunjukkan bahwa adanya gugus -CH. Kemudian adanya gugus C=O ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan 1589,99 cm⁻¹. Selanjutnya terdapat spektrum bilangan 1414,52 cm⁻¹, yang menunjukkan adanya gugus -CH₂. Lalu adanya gugus -O- ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan 1017,72 cm⁻¹. Ciri bahwa CMC terbentuk yaitu adanya daerah sidik jari pada spektrum 847,82 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan karena adanya getaran C-H dari rantai β-glikosidik yang merupakan penghubung antar unit glukosa pada selulosa.



Gambar 24. Spektrum FTIR CMC (a) Sampel Komersil, (b) Sampel R5, dan (c) Sampel R2

Spektrum FTIR sampel CMC terpilih R5 dapat dilihat pada Gambar 24.(b), dalam spektrum tersebut muncul bilangan gelombang 3328,84 cm⁻¹, hal ini menandakan bahwa terdapat gugus -OH sebagai ciri khas selulosa. Selanjutnya terbacanya spektrum pada bilangan gelombang 2901,52 cm⁻¹, menunjukkan bahwa

adanya gugus -CH. Kemudian adanya gugus C=O ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan $1643,07\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya terdapat spektrum bilangan $1426,19\text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya gugus -CH₂. Lalu adanya gugus -O- ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan $1026,69\text{ cm}^{-1}$. Ciri bahwa CMC terbentuk yaitu adanya daerah sidik jari pada spektrum $896,68\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan serapan karena adanya getaran C-H dari rantai β -glikosidik yang merupakan penghubung antar unit glukosa pada selulosa.

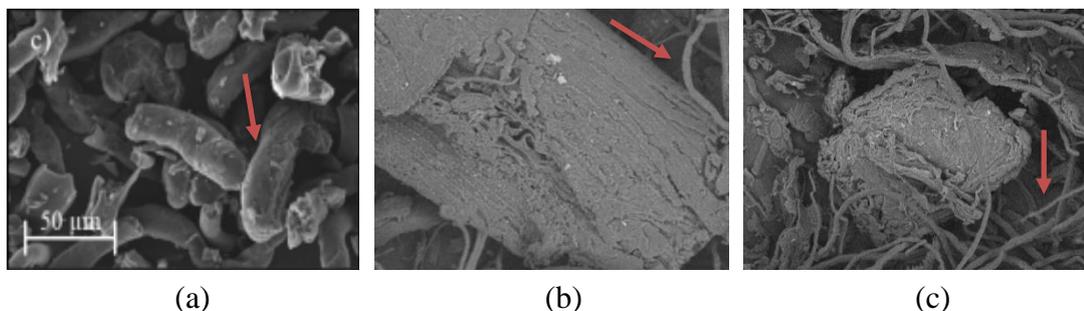
Spektrum FTIR sampel CMC terpilih R2 dapat dilihat pada Gambar 24.(c), dalam spektrum tersebut muncul spektrum bilangan gelombang $3330,41\text{ cm}^{-1}$, hal ini menandakan bahwa terdapat gugus -OH sebagai ciri khas selulosa. Selanjutnya terbacanya spektrum pada bilangan gelombang $2892,35\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan bahwa adanya gugus -CH. Kemudian adanya gugus C=O ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan $1595,67\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya terdapat spektrum bilangan $1424,96\text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya gugus -CH₂. Lalu adanya gugus -O- ditandai dengan terbacanya gugus pada spektrum bilangan $1026,69\text{ cm}^{-1}$. Ciri bahwa CMC terbentuk yaitu adanya daerah sidik jari pada spektrum $895,75\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan serapan karena adanya getaran C-H dari rantai β -glikosidik yang merupakan penghubung antar unit glukosa pada selulosa.

Hasil spektrum sampel CMC jerami kemurnian tertinggi dan rendemen tertinggi pada penelitian ini, saat dibandingkan dengan CMC komersil memiliki gugus fungsi yang hampir mirip walaupun tingkat kekuatan dari spektrum komersil lebih kuat yang ditandai dengan peak yang semakin curam. Berdasarkan Hapsari (2013) tidak terjadinya reaksi yang sempurna pada reaksi alkalisasi dan karboksimetilasi merupakan tahap yang penting dalam sintesis CMC. Kurang tajamnya peak yang dibentuk mengindikasikan bahwa kualitas CMC yang dihasilkan rendah. Reaksi yang kurang sempurna tersebut dimungkinkan belum terbentuknya selulosa yang mengembang dengan maksimal sehingga NaMCA tidak dapat tersubstitusi dengan baik.

4.5.2 Analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah sebuah instrumen yang menggunakan berkas elektron pancaran tinggi untuk memindai sebuah objek

sehingga menghasilkan citra (*image*) dari objek tersebut. Hasil pemindaian SEM berupa gambar 3 dimensi dari permukaan sampel yang dipindai (Masta *et al.*, 2020). Pada penelitian ini, analisis SEM bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi dari CMC jerami dan untuk mengetahui apakah ada pengotor yang ikut terbawa.



Gambar 25. CMC jerami (a) Sampel komersil, (b) Sampel R5, (c) Sampel R2 perbesaran 500x

Pengamatan SEM menunjukkan bahwa sampel CMC terpilih R5 (kemurnian tertinggi), R2 (rendemen tertinggi) dan sampel komersil dapat dilihat pada Gambar 25. Pada perbesaran 500x, CMC yang berasal dari jerami padi menunjukkan struktur yang terdiri dari untaian fibril dengan tekstur kasar, terdapat area yang terpecah dan partikel yang dihasilkan tidak dapat dilakukan pengukuran karena untaian yang menumpuk dan menggumpal, sedangkan pada CMC komersial dapat dilihat bahwa partikel CMC berbentuk pecahan fibril yang lebih pendek dengan ukuran $50\ \mu\text{m}$. Bentuk partikel CMC komersial lebih halus dibandingkan pada CMC jerami padi. Berdasarkan Klunklin *et al.* (2023), bentuk permukaan yang kasar dengan ketidakaturan atau tonjolan karena struktur serat yang kurang berkembang dan kurang kompak. Hastuti (2024) menambahkan kekasaran fibril selulosa biasanya dikaitkan dengan proses ekstraksi, yang melibatkan senyawa kimia yang kuat dan peningkatan suhu. Kekasaran permukaan fibril biasanya berkurang selama pembentukan CMC melalui reaksi selulosa dengan senyawa eterifikasi. Pengurangan tingkat kekasaran ini disertai dengan perubahan kristalinitas selulosa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dalam pembuatan CMC dari jerami padi, didapatkan formula optimum dengan penambahan NaMCA 4,402 gram dan waktu reaksi 3 jam yang menghasilkan nilai *desirability* sebesar 0,58 dengan karakteristik rendemen sebesar 25,31%; pH sebesar 7,58; kadar air sebesar 4,12%; derajat putih sebesar 74,23%; viskositas sebesar 6,8 cP; kemurnian sebesar 94,09%; dan kadar NaCl sebesar 5,91%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam pada penambahan NaMCA dengan rentang yang lebih sempit untuk meningkatkan akurasi hasil penelitian.
2. Pada saat proses pembuatan selulosa, suhu yang digunakan dilakukan pengecekan secara seksama. Suhu larutan 100°C disarankan, hal ini dikarenakan untuk memaksimalkan proses delignifikasi agar kandungan lignin dan hemiselulosa dapat terurai.
3. Proses pencucian CMC menggunakan etanol dan aquadest harus dilakukan dengan benar, hal ini dilakukan untuk menghilangkan pengotor yang tersisa serta aroma asetat yang tertinggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhameed, A., Mbuvi, H. M., Changamu, E. O., dan Maingi, F. M. 2019. *Microwave synthesis of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Rice Husk*. IOSR Journal of Applied Chemistry. Vol. 12(12): 33-42.
- Agustian, J., Lilis, H., dan Heri, R. 2021. Penguasaan Perangkat Design Expert® dalam R&D Produksi untuk Keterampilan Mengoptimasi Operator Proses PT. Tunas Baru Lampung (TBK) Bandar Lampung. Abdimas Singkerru. Vol. 1(2): 124-133.
- Agustina, M., Fahrizal., dan Eti, I. 2019. Penambahan CMC, Gum Xanthan dan Pektin pada Sirup Air Kelapa. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah. Vol. 1(1): 217-226.
- Akbar, F. M., Asis, A., dan Lizmah, S. F. 2022. Hubungan Karakter Agronomi Padi Varietas Ciherang dan Inpari 32 di Lahan Sawah Tadah Hujan. Jurnal Agrium. Vol. 19(1): 29-35.
- Altunina, L. K., Tikhonova, L. D., dan Yarmukhametova, E. G. 2001. *Method for Deriving Carboxymethyl Cellulose*. Eurasian Chemico-Technological Journal. Vol. 3(1): 49-53.
- Anihouvi, V. B., Saalia, F., Dawson, S. E., Ayernor, G. S., dan Hounhouigan, J. D. 2011. *Response Surface Methodology for Optimizing the Fermentation Conditions During the Processing of Cassava Fish (Pseudotolithus sp) into lanhouin*. IJEST. Vol. 3(9): 7085-7095.
- AOAC [Association of Analytical Communities]. 2005. *Official Methods Of Analysis Of The Association Of Analytical Chemists*. Association Of Official Analytical Chemists. Virginia USA.
- Asiah, N., dan Djaeni, M. 2021. Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan. AE Publishing. Malang.
- Astria, F., Subito, M., dan Nugraha, D. W. 2014. Rancang Bangun Alat Ukur pH dan Suhu Berbasis *Short Message Service (SMS) Gateway*. Jurnal Mektrik. Vol. 1(1): 47-55.
- Ayuningtiyas, S., Desiyana, F. D., dan Siswarni, M. Z. 2017. Pembuatan Karboksimetil Selulosa dari Kulit Pisang Kepok dengan Variasi Konsentrasi Natrium Hidroksida, Natrium Monokloroasetat, Temperatur dan Waktu Reaksi. Jurnal Teknik Kimia USU. Vol. 6(3): 47-51.
- Azharini, R., Asri W., dan Siti N. 2022. Optimasi Proses Ekstraksi Bunga Telang (*Clitoria ternatea*) Berbantu Gelombang Mikro menggunakan Aplikasi *Response Surface Methodology*. Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia. Vol. 14(1): 88-96.

- Basmal, J., Andhita, D., dan Sediarmo, S. 2005. Pengaruh Alkalisasi Selulosa terhadap Produksi Sodium Karboksimetil Selulosa. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. Vol. 11(4): 61-69.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. 2021. Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi menurut Provinsi, 2019-2021. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- BPTP SULSEL [Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Sulawesi Selatan]. 2013. Integrasi Padi dan Ternak. Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Sulawesi Selatan. Makassar.
- BSN [Badan Standarisasi Nasional]. 1995. Syarat Mutu Natrium Karboksimetil Selulosa Teknis SNI 06-3736-1995. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- BSN [Badan Standarisasi Nasional]. 2004. Cara Uji Klorida (Cl⁻) dengan Metode Argentometri (Mohr) SNI 06-6989-19-2004. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Dimawarnita F, Panji T. 2018. Sintesis Karboksimetil Selulosa dari Sisa Baglog Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*). *Menara Perkebunan*. Vol. 8(2): 96-106.
- Dimawarnita, F., Panji, T., dan Faramita, Y. 2019. Peningkatan Kemurnian Selulosa dan Karboksimetil Selulosa (CMC) Hasil Konversi Limbah TKKS Melalui Perlakuan NaOH 12%. *Menara Perkebunan*. Vol. 87(2): 95-103.
- Draper, N. R dan H. Smith. 1998. *Applied Regression Analysis Third Edition*. John Wiley dan Sons Inc. New York.
- Duff, S. J., dan Murray, W. D. 1996. *Bioconversion of Forest Products Industry Waste Cellulosics to Fuel Ethanol: a Review*. *Bioresource Technology*. Vol. 55(1): 1-33.
- Eliza, M. Y., Shahrudin, M., Noormaziah, J., dan Rosli, W. W. 2015. *Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) in The New Solvent Dimethyl Sulfoxide (DMSO) / Tetrabutylammonium Fluoride (TBAF)*. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 622: 1-10.
- Fatimah, I. 2023. Studi Kinetika Reaksi Karboksimetilasi Selulosa dalam Isopropil Alkohol dengan Bantuan Iradiasi *Microwave*. Skripsi. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Serang.
- Ferdiansyah, M. K., Marseno, D. W., dan Pranoto, Y. 2017. Optimasi Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan *Response Surface Methodology (RSM)*. *Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*. Vol. 37(2): 158-164.

- Funami, T. 2011. *Next Target for Food Hydrocolloid Studies: Texture Design of Foods using Hydrocolloid Technology*. Food Hydrocolloids. Vol. 25(8): 1904-1914.
- Gaspersz, V. 1995. Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan 2. Tarsito. Bandung.
- Hapsari, M. 2013. Sintesis dan Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Selulosa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Campuran Media Reaksi Isobutil-Isopropil Alkohol. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Hardani., Idawati, S., Rahim, A., Ningrym, M. D., Ghozaly, M. R., dkk. 2022. Buku Ajar Farmasi Fisika. Samudra Biru. Yogyakarta.
- Hariani, R., dan Fatmayati, F. 2024. Pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Batang Kelapa Sawit. Jurnal Teknik Industri Terintegrasi. Vol. 7(1): 498-508.
- Hastuti, N., Herawati, H., Eris, F. R., Kusnandar, F., Agustinisari, I., Fetriyuna, F., dan Razi, M. A. 2024. *Facile Synthesis of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Agricultural Residues*. Cellulose Chemistry dan Technology. Vol. 58(5-6): 455-466.
- Herawati, H. 2018. Potensi Hidrokoloid sebagai Bahan Tambahan pada Produk Pangan dan Nonpangan Bermutu. Jurnal Litbang Pertanian. Vol. 37(1): 17-25.
- Hutomo, G., Djagal W.M., Sri A., dan Supriyanto. 2012. *Synthesis and Characterization of Sodium Carboxymethyl Cellulose from Pod Husk of Cacao (Theobroma cacao L.)*. African Journal of Food Science. Vol. 6(6): 180-185.
- Indrayani, S. A. 2018. Optimasi Ekstraksi Minyak Biji Pala menggunakan Metode *Respon Surface Methodology* (RSM). Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Indriani, I., Hasan, A., dan Meydinariasty, A. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Na-CMC dari α -Selulosa Serabut Kelapa Sawit. Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia. Vol. 1(9): 375-381.
- Indriyati, W., Kusmawati, R., Sriwidodo, S., Hasanah, A. N., dan Musfiroh, I. 2016. Karakterisasi *Carboxymethyl Cellulose Sodium* (Na-CMC) dari Selulosa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.) yang Tumbuh di Daerah Jatinangor dan Lembang. Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology. Vol. 3(3): 99-110.
- Iriawan N, dan Astuti S. P. 2006. Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14. Penerbit ANDI. Yogyakarta.

- Ischak, N. I., Fazriani, D., dan Botutihe, D. N. 2021. Ekstraksi dan Karakterisasi Selulosa dari Limbah Kulit Kacang Tanah (*Arachys hypogaea L.*) Sebagai Adsorben Ion Logam Besi. *Jambura Journal of Chemistry*. Vol. 3(1): 27-36.
- Jamil, A., Satoto., Sasmita, P., Guswara, A., dan Suharna. 2016. Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Medan.
- Kemalawaty, M., Anwar, C., dan Aprita, I.R. 2019. Kajian Pembuatan Dendeng Ayam Sayat dengan Penambahan Ekstrak Asam. *Jurnal Peternakan Sriwijaya*. Vol. 8(1): 1-8.
- Kentjana, Y. P. 1996. Karboksimetilasi Bahan Bukan Kayu. *Berita Selulosa*. Vol. 33(4): 17-20.
- Klunklin, W., Hinmo, S., Thipchai, P., dan Rachtanapun, P. 2023. *Effect of Bleaching Processes on Physicochemical and Functional Properties of Cellulose and Carboxymethyl Cellulose from Young and Mature Coconut Coir*. *Polymers*. Vol. 15(16): 3376.
- Kodri., Argo, B. D., dan Yulianingsih, R. 2013. Pemanfaatan Enzim Selulase dari *Trichoderma reesei* dan *Aspergillus niger* Sebagai Katalisator Hidrolisis Enzimatik Jerami Padi dengan *Pretreatment Microwave*. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. Vol. 1(1): 36-43.
- Kumari, K.S., Babu, I.S., dan Rao, G.H. 2008. *Process Optimization for Citric Acid Production from Raw Glycerol using Response Surface Methodology*. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 7(4): 496-501.
- Kurniawan, A., Muslikah, S., dan Sugiarto, S. 2022. Kualitas Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa L.*) Varietas Inpari 32: Interval Waktu Induksi dan Pemberian Giberelin dengan Sistem Intensifikasi Potensi Lokal (SIPLo). *Agronisma*. Vol. 10(2): 341-351.
- Makarim. 2007. Jerami Padi : Pengelolaan dan Pemanfaatan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Mariana, W., Widjanarko, S. B., dan Widyastuti, E. 2017. Optimasi Formulasi dan Karakterisasi Fisikokimia dalam Pembuatan Daging Restrukturisasi menggunakan *Response Surface Methodology* (Konsentrasi Jamur Tiram serta Gel Porang dan Karagenan). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 5(4): 83-91.
- Marlina, M., Setyono, S., dan Mulyaningsih, Y. 2017. Pengaruh Umur Bibit dan Jumlah Bibit terhadap Pertumbuhan dan Hasil Panen Padi Sawah (*Oryza sativa L.*) Varietas Ciherang. *Jurnal Pertanian*. Vol. 8(1): 26-35.
- Masrullita, M., Meriatna, M., Zulmiardi, Z., Safriwardy, F., Auliani, A., dan Nurlaila, R. 2021. Pemanfaatan Jerami Padi (*Oryza sativa L.*) sebagai

- Bahan Baku dalam Pembuatan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*). Jurnal Rekayasa Proses. Vol. 15(2): 194-201.
- Masrullita, M., Nurlaila, R., Zulmiardi, Z., Safriwardy, F., Auliani, A., dan Meriatna, M. 2022. *Synthesis Carboxymethyl Cellulose (CMC) from Rice Straw (Oryza sativa L.) Waste*. International Journal of Engineering, Science and Information Technology. Vol. 2(1): 24-29.
- Masta, N. 2020. Buku Materi Pembelajaran *Scanning Electron Microscopy*. Universitas Kristen Indonesia. Jakarta.
- Maulina, Z., Adriana, A., dan Rihayat, T. 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi NaOH dan Berat Natrium Monokloroasetat Pada Pembuatan (*Carboxymethyl Cellulose*) CMC dari Serat Daun Nanas (*Pineapple-leaf fibres*). Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi, Vol. 17(2).
- Melisa, M., Bahri, S., dan Nurhaeni, N. 2014. Optimasi Sintesis Karboksimetil Selulosa dari Tongkol Jagung Manis (*Zea Mays L Saccharata*). Journal of Natural Science. Vol. 3(2): 70-78.
- Montgomery, D.C. 2001. *Design and Analysis of Experiment 5th Edition*. John Willey and Sons, inc. New York.
- Montgomery, D. C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley. New York.
- Montgomery D. C. 2017. *Design and Analysis of Experiments Arisona*. John Wiley dan Sons Inc. New York.
- Mugrima, R. 2019. Sintesis dan Penentuan Derajat Substitusi Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Selulosa dengan Variasi Konsentrasi Natrium Monokloroasetat. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Mustabi, J. 2023. Analisis Pengembangan Jerami Padi sebagai Pakan Ternak. Nas Media Pustaka. Makassar.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., dan Anderson-Cook, C. M. 2016. *Response Surface Methodology. Fourth*. John Wiley dan Sons, Inc. Hoboken.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., dan Ragadhita, R. 2019. *How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material*. Indonesian Journal of Science and Technology. Vol. 4(1): 97-118.
- Nawari. 2010. Analisis Regresi dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta..
- Nisa, D., dan Putri, W. D. R. 2014. Pemanfaatan Selulosa dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao L.*) sebagai Bahan Baku Pembuatan CMC (*Carboxymethyl Cellulose*). Jurnal Pangan dan Agroindustri. Vol. 2(3): 34-42.

- Nisfianoor, M. 2009. Pendekatan Statistika Modern untuk Ilmu Sosial. Salemba Humanika. Jakarta.
- Novia, N., Windarti, A., dan Rosmawati, R. 2014. Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dengan Metode *Ozonolisis-Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF). Jurnal Teknik Kimia. Vol. 20(3): 38-48.
- Nugraheni, H. M., Mulyati, T. A., dan Badriyah, L. 2018. Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Durian Mentega sebagai *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). *Prosiding Seminar Nasional Sains Teknologi dan Analisis*.
- Nur, R., Tamrin, dan Muzakkar, M. Z. 2016. Sintesis dan Karakterisasi CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) yang Dihasilkan dari Jerami Padi. J. Sains dan Teknologi Pangan. Vol. 1(3): 222-230.
- Nurmiah, S., Rizal S., Sukarno, Rosmawaty P., dan Budi N. 2013. Aplikasi *Response Surface Methodology* pada Optimalisasi Kondisi Proses Pengolahan *Alkali Treated Cottonii* (ATC). Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. Vol. 8(1): 9-22.
- Octaviani, M. A., Dian R. S. D., dan Luh, J. A. 2017. Optimasi Faktor yang Berpengaruh pada Kualitas Lilin di UD.X dengan Metode *Response Surface*. Jurnal Ilmiah Widya Teknik. Vol 16(1): 29-38.
- Perincek, O., dan Colak, M. 2013. *Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads*. Int J Eng Res. Vol. 3(2): 8.
- Pitaloka, A. B., Hidayah, N. A., Saputra, A. H., dan Nasikin, M. 2015. Pembuatan CMC dari Selulosa Eceng Gondok dengan Media Reaksi Campuran Larutan Isopropanol-Isobutanol untuk Mendapatkan Viskositas dan Kemurnian Tinggi. Jurnal Integrasi Proses. Vol. 5(2): 108-114.
- Prasetyo, T. F., Isdiana, A. F., dan Sujadi, H. 2019. Implementasi Alat Pendeteksi Kadar Air pada Bahan Pangan Berbasis *Internet of Things*. Smartics Journal. Vol. 5(2): 81-96.
- Prayitno, A., Hadi, D., dan Firyanto, R. 2020. Pembuatan NaCMC dari Batang Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). Journal of Chemical Engineering. Vol. 1(1): 7-11.
- Priatni, H. L. 2019. Evaluasi Kualitas Na-CMC Hasil Sintesis Selulosa Eceng Gondok dengan *Crosslinker* Asam Suksinat dan Epiklorohidrin. Farmaka. Vol. 17(2): 32-47.
- Purwanti, E. P., dan Pilarian, F. 2013. Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel SUS 304 untuk Kekasaran Permukaan dengan Metode *Response Surface*. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*. UNY Yogyakarta. Vol. 978.

- Pushpamalar, V., Langford, S. J., Ahmad, M., dan Lim, Y. Y. 2006. *Optimization of Reaction Conditions for Preparing Carboxymethyl Cellulose from Sago Waste*. Carbohydrate polymers. Vol. 64(2): 312-318.
- Rachmawaty, R., Meriyani, M., dan Priyanto, S. 2013. Sintesis Selulosa Diasetat dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Potensinya untuk Pembuatan Membran. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. Vol. 2(3): 8-16.
- Raissi, S., dan Farzani, R. E. 2009. *Statistical Process Optimization Through Multiresponse Surface Methodology*. International Journal of Mathematical and Computational Sciences. Vol. 3(3): 267-271.
- Safitri, D. A. W., Putri, Z. Z., dan Wahyusi, K. N. 2024. Sintesis *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Kulit Pisang Ambon Hijau (*Musa paradisiaca var. sapientum*). Jurnal Teknik Kimia. 9(10): 1-7.
- Safitri, D., Rahim, E. A., Prismawiryanti, P., dan Sikanna, R. 2017. Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Selulosa Kulit Durian (*Durio zibethinus*). Jurnal Riset Kimia. Vol. 3(1): 58-68.
- Santosa, B., Wignyanto, W., Hidayat, N., dan Sucipto, S. 2020. *Optimization of NaOH Concentration and Trichloroacetic Acid in Bacterial Carboxymethylation Cellulose*. Food Research Journal. Vol. 4(3): 594-601.
- Santoso, S. 2009. Panduan Lengkap Menguasai Statistik dengan SPSS 17. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Saputra, A. 2024. Pengaruh Penambahan Variasi Natrium Monokloroasetat terhadap Karakteristik *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Batang Tanaman Pimping (*Themeda gigantea*). Skripsi. Universitas Andalas. Padang.
- Shyni, K., Hema, G.S., Ninan, G. Mathew, S., Joshy, C. G., Lakshmanan, P. T. 2014. *Isolation and Characterization of Gelatin from The Skins of Skipjack Tuna (Katsuwonus pelamis), dog shark (Scoliodon sorrakowah), and Rohu (Labeo rohita)*. Food Hydrocolloids. Vol. 39: 68-76.
- Silsia, D., Efendi, Z., dan Timotius, F. 2018. Karakterisasi Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Pelepah Kelapa Sawit. Jurnal Agroindustri. Vol. 8(1): 53-61.
- Sumada, K., Puspita, E.T. and Fiqih, A. 2011. *Isolation Study of Efficient a Cellulose from Waste Plant Stem Manihot Esculenta Crantz*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 5(2): 434-438.
- Sutha, K. G., Arnata, I. W., dan Putra, G. G. 2022. Pengaruh Suhu dan Waktu Proses Karboksimetilasi terhadap Karakteristik *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) dari Onggok Singkong. Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan. Vol. 11(3): 533-541.

- Tangka'a, R., Mentang, F., Agustin, A. T., Onibala, H., Kaseger, B. E., Makapedua, D. M., dan Sanger, G. 2020. Pengaruh Perbedaan Konsentrat Asam Asetat dan Lama Ekstraksi Kolagen dari Kulit Ikan Situhuk Hitam (*Makaira indica*). Media Teknologi Hasil Perikanan. Vol. 8(2): 44-49.
- Tarlak, F., Ozdemir, M., dan Melikoglu, M. 2016. *Computer Vision System Approach in Colour Measurements of Foods: Part II. Validation of Methodology with Real Foods*. Food Science and Technology.
- Widarsaputra, A. Y., Prawatya, Y. E., dan Sujana, I. 2022. *Response Surface Methodology (RSM) untuk Optimasi Pengolahan Keripik Nanas Menggunakan Mesin Vacuum Frying*. Industrial Engineering and Management System. Vol. 6(2): 70-77.
- Widyaiswara Balai Besar Pelatihan Peternakan Batu. 2016. Gerakan Pemberdayaan Petani Terpadu: Materi Ternak Sapi Potong. Media Nusa Creative. Malang
- Wijayani, A., Ummah, K., dan Tjahjani, S. 2005. Karakterisasi Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms). Indo. J. Chem, Vol. 5(3): 228-231.
- Yasar, F., Togrul, H., dan Arslan, N. 2007. *Flow Properties of Cellulose and Carboxymethyl Cellulose from Oranye Peel*. Journal of food Engineering. Vol. 81(1): 187-199.
- Yimlamai, B., Choorit, W., Chisti, Y., dan Prasertsan, P. 2021. *Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber and Its Conversion to Carboxymethyl Cellulose*. J Chem Technol Biotechnol. Vol. 96: 1656-1666.
- Yudharini, G. A. K. F., Suryawan, A. A. P. A., & Wartini, N. M. 2016. Pengaruh Perbandingan Bahan dengan Pelarut dan Lama Ekstraksi terhadap Rendemen dan Karakteristik Ekstrak Pewarna dari Buah Pandan (*Pandanus tectorius*). Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri, Vol. 4(3): 36-46.
- Zhu, S., Wu, Y., Yu, Z., Liao, J., dan Zhang, Y. 2005. *Pretreatment by Microwave / Alkali of Rice Straw and its Enzymic Hydrolysis*. Process Biochemistry. Vol. 40(9): 3082-3086.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil uji sidik ragam (ANOVA) respon pengamatan

a. Uji sidik ragam respon rendemen

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	45,71	2	22,85	29,53	< 0.0001	Signifikan
A-Berat NaMCA	28,39	1	28,39	36,67	0,0001	
B-Waktu Reaksi	17,32	1	17,32	22,38	0,0008	
Residual	7,74	10	0,7741			
Lack of Fit	1,82	6	0,3039	0,2054	0,9569	Tidak Signifikan
Pure Error	5,92	4	1,48			
Cor Total	53,45	12				

b. Uji sidik ragam respon derajat keasaman (pH)

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	3,74	2	1,87	9,45	0,0050	Signifikan
A-Berat NaMCA	3,39	1	3,39	17,14	0,0020	
B-Waktu Reaksi	0,3491	1	0,3491	1,77	0,2135	
Residual	1,98	10	0,1977			
Lack of Fit	1,56	6	0,2605	2,51	0,1958	Tidak Signifikan
Pure Error	0,4145	4	0,1036			
Cor Total	5,72	12				

c. Uji sidik ragam respon kadar air

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	0,5241	2	0,2620	0,6170	0,5589	Tidak Signifikan
A-Berat NaMCA	0,3122	1	0,3122	0,7351	0,4113	
B-Waktu Reaksi	0,2119	1	0,2119	0,4989	0,4961	
Residual	4,25	10	0,4247			
Lack of Fit	3,12	6	0,5197	1,84	0,2884	Tidak Signifikan
Pure Error	1,13	4	0,2821			
Cor Total	4,77	12				

d. Uji sidik ragam respon derajat putih

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	12,96	2	6,48	2,54	0,1286	Tidak Signifikan
A-Berat NaMCA	11,23	1	11,23	4,39	0,0625	
B-Waktu Reaksi	1,74	1	1,74	0,6798	0,4289	
Residual	25,56	10	2,56			
Lack of Fit	23,94	6	3,99	9,85	0,0221	Signifikan
Pure Error	1,62	4	0,4051			
Cor Total	38,53	12				

e. Uji sidik ragam respon viskositas

Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	0,4530	2	0,2265	0,6569	0,5395	Tidak Signifikan
A-Berat NaMCA	0,2677	1	0,2677	0,7763	0,3989	
B-Waktu Reaksi	0,1853	1	0,1853	0,5374	0,4803	
Residual	3,45	10	0,3448			
Lack of Fit	1,01	6	0,1687	0,2771	0,9210	Tidak Signifikan
Pure Error	2,44	4	0,6089			
Cor Total	3,90	12				

f. Uji sidik ragam respon kemurnian

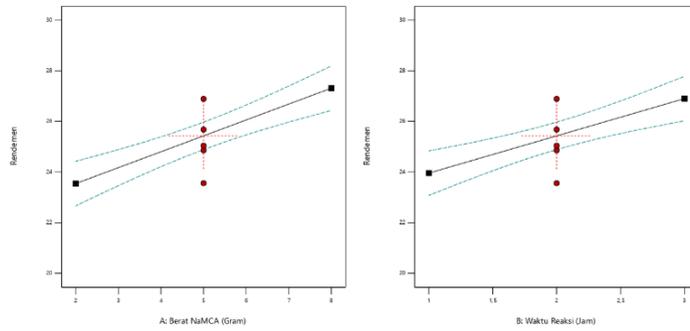
Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	707,07	2	353,53	1,79	0,2164	Tidak Signifikan
A-Berat NaMCA	663,25	1	663,25	3,36	0,0967	
B-Waktu Reaksi	43,82	1	43,82	0,2219	0,6477	
Residual	1974,36	10	197,44			
Lack of Fit	1675,19	6	279,20	3,73	0,1115	Tidak Signifikan
Pure Error	299,16	4	74,79			
Cor Total	2681,42	12				

g. Uji sidik ragam respon kadar NaCl

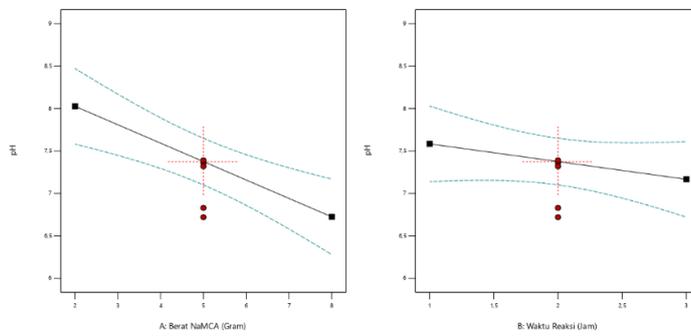
Sumber	Jumlah kuadrat	df	Mean Kuadrat	F-value	p-value	Signifikansi
Model	706,84	2	353,42	1,79	0,2166	Tidak Signifikan
A-Berat NaMCA	663,06	1	663,06	3,36	0,0968	
B-Waktu Reaksi	43,77	1	43,77	0,2217	0,6479	
Residual	1974,72	10	197,47			Tidak Signifikan
Lack of Fit	1675,56	6	279,26	3,73	0,1115	
Pure Error	299,16	4	74,79			
Cor Total	2681,56	12				

Lampiran 2. Grafik interaksi setiap faktor terhadap respon

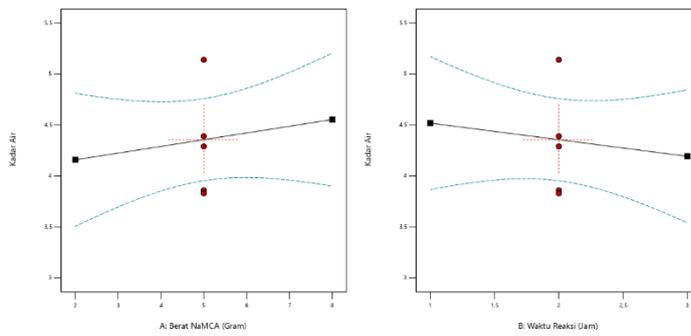
a. Grafik respon rendemen



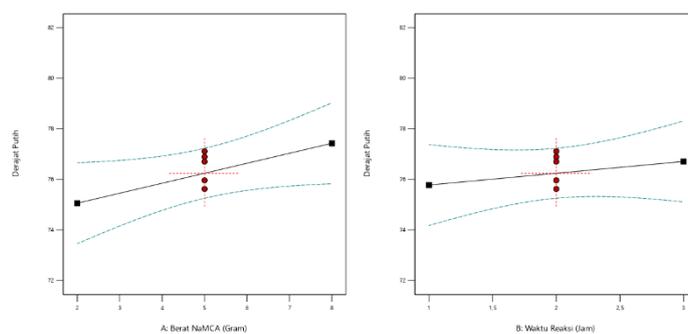
b. Grafik respon derajat keasaman (pH)



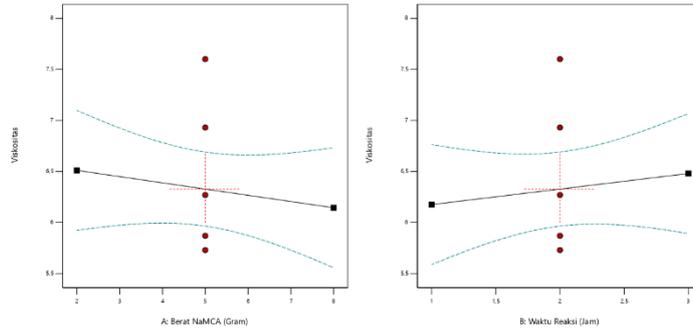
c. Grafik respon kadar air



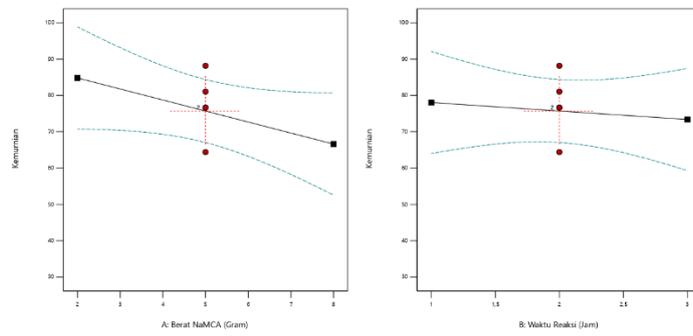
d. Grafik respon derajat putih



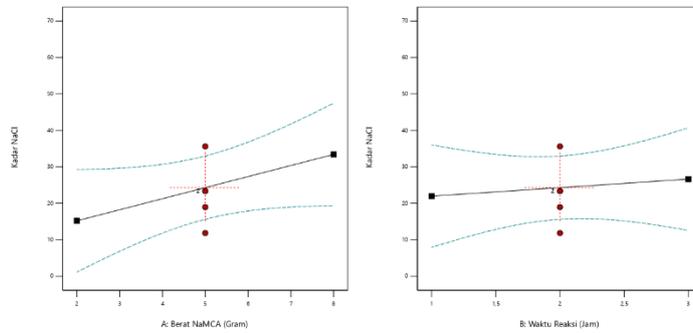
e. Grafik respon viskositas



f. Grafik respon kemurnian



g. Grafik respon kadar NaCl



Lampiran 3. Teladan perhitungan berbagai pangamatan

a. Data rendemen formula optimum

Berat Jerami	Rendemen (%)
100,06	25,31

*contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rendemen (\%)} &= \frac{\text{Bobot CMC}}{\text{Bobot jerami}} \times 100\% \\ &= \frac{25,3225}{100,06} \times 100\% \\ &= 25,31\% \end{aligned}$$

b. Data kadar air formula optimum

Ulangan	Bobot awal sampel	Bobot akhir sampel	% Kadar air	Rata-rata
1	1,0086	0,9654	4,28	
2	1,0124	0,9712	4,07	4,12
3	1,0064	0,9661	4,00	

*contoh perhitungan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w1 - w2}{w1} \times 100\%$$

Keterangan:

w1 = Bobot sampel awal sebelum dikeringkan (g)

w2 = Bobot sampel akhir setelah dikeringkan (g)

$$\begin{aligned} \text{Kadar air (\%)} &= \frac{1,0086 - 0,9654}{1,0086} \times 100\% \\ &= \frac{0,0432}{1,0086} \times 100\% \\ &= 4,28\% \end{aligned}$$

c. Derajat putih formula optimum

Ulangan	L*	a*	b*	Derajat putih	Rata-rata
1	79,24	2,23	15,19	74,18	
2	79,30	2,20	15,16	74,25	74,23
3	79,32	2,21	15,16	74,26	

*contoh perhitungan:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Keterangan:

W = Derajat Putih

L* = Warna akromatik putih

a* = Warna akromatik campuran merah-hijau

b* = Warna akromatik campuran biru-kuning

$$\begin{aligned} W &= 100 - \sqrt{(100 - 79,24)^2 + (2,23)^2 + (15,19)^2} \\ &= 100 - \sqrt{666,69} \\ &= 74,18 \end{aligned}$$

d. Kemurnian

Kadar NaCl	Kemurnian (%)
5,91	94,09

*contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Kemurnian (\%)} &= 100\% - \text{Kadar NaCl} \\ &= 100\% - 5,91 \\ &= 94,09\% \end{aligned}$$

e. Kadar NaCl

Ulangan	Bobot sampel	Volume AgNO ₃	N AgNO ₃	Kadar air	FP	% Kadar NaCl	Rata-rata
1	0,5075	0,40	0,0118	4,28	10	5,68	
2	0,5075	0,45	0,0118	4,07	10	6,38	5,91
3	0,5075	0,40	0,0118	4,00	10	5,66	

*contoh perhitungan:

$$\text{Kadar NaCl (\%)} = \frac{V \times N \times 58,45 \times FP}{A \times (100 - B)} \times 100$$

Keterangan:

V = Volume AgNO₃ 0,0105 N

N = Normalitas AgNO₃

Bobot molekul NaCl = 58,45

A = Bobot sampel

B = Kadar air

FP = Faktor pengenceran

$$\begin{aligned}\text{Kadar NaCl (\%)} &= \frac{0,40 \times 0,0118 \times 58,45 \times 10}{0,5075 \times (100 - 4,28)} \times 100\% \\ &= \frac{2,7588}{48,5779} \times 100\% \\ &= 5,68\%\end{aligned}$$

Lampiran 4. Dokumentasi kegiatan penelitian

a. Proses pembuatan serbuk jerami



Pencucian jerami



Pengeringan jerami



Pengecilan ukuran



Penghalusan jerami

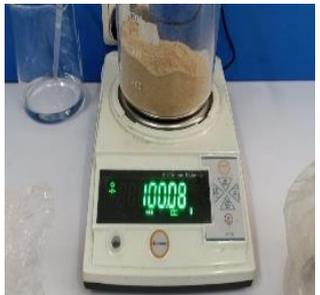


Pengayakan jerami



Bubuk jerami

b. Proses pembuatan selulosa



Penimbangan jerami



Pemanasan hotplate



Penyaringan



Pencampuran larutan



Pencucian



Pemutihan I



Penyaringan



Pencucian II



Hasil pemutihan



Pengeringan



Penghalusan

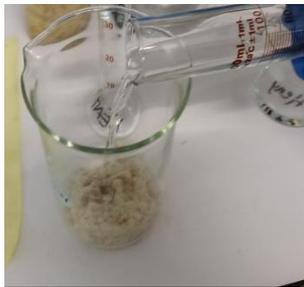


Selulosa

c. Proses pembuatan CMC



Penimbangan selulosa



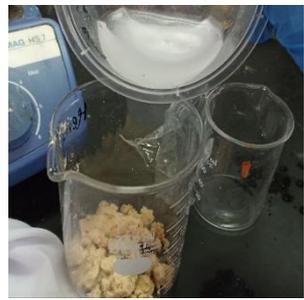
Pencampuran larutan



Pengadukan



Penyaringan

Pencampuran dengan
NaMCA

Pemanasan



Penetralan



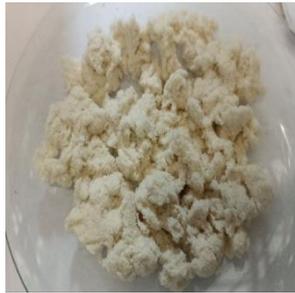
Pencucian



Pengeringan



Penghalusan



CMC

d. Proses analisis CMC



Penimbangan rendemen



Analisis pH



Analisis kadar air



Analisis derajat putih



Analisis viskositas



Analisis kadar NaCl