

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 (*betha 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)

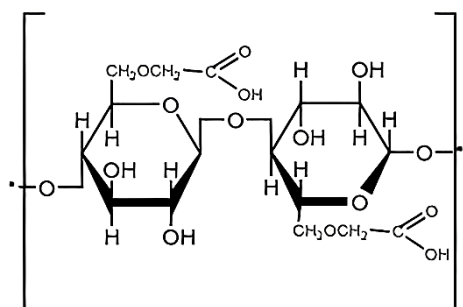
Sumber : Herawati (2018)

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-glukopiranos 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	-

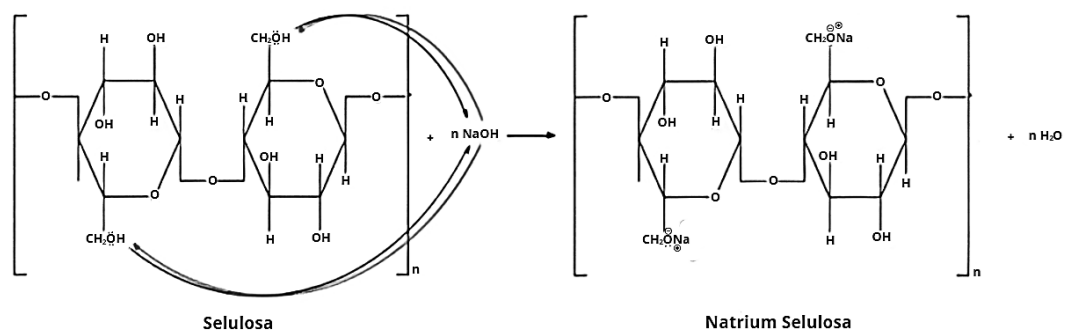
Sumber : BSN (1995)

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.



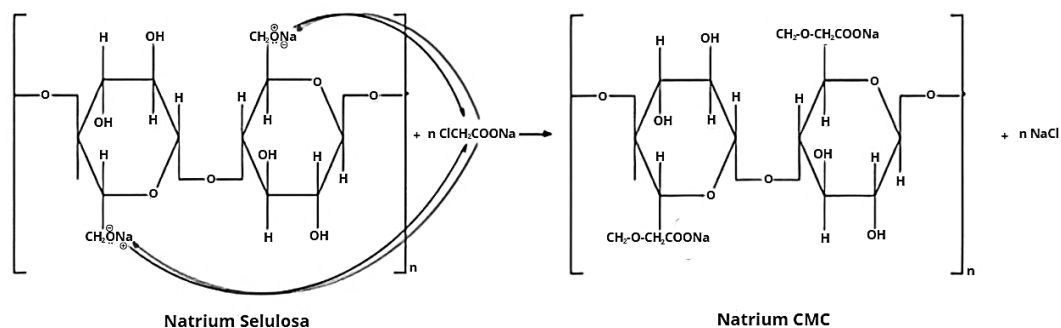
Gambar 3. Mekanisme reaksi alkalisasi (Eliza *et al.*, 2015)

Dalam proses alkalisasi, selulosa ditambahkan dengan NaOH sebagai reagen alkalisasi. 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

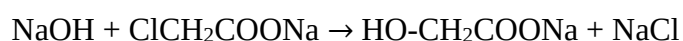
Setelah tahapan alkalisasi selesai, dilanjutkan dengan karboksimetilasi. Pada tahap karboksimetilasi terjadi pelekatan gugus-gugus karboksilat pada struktur selulosa yang dilakukan dengan menggunakan reagen asam trikloroasetat atau natrium monokloroasetat (Indriani *et al.*, 2021). Reagen monokloroasetat 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. Penetrulan

Setelah tahap alkalisasi dan karboksimetilasi, dilakukan tahap penetrulan. 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 penetrulan 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*, *linear*, *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-Behnken* 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%; CaCO₃ 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>Carboxylmethyl 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>Carboxylmethyl 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>Carboxylmethyl 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.