

**PENGEMBANGAN SENSOR pH BERBASIS *BACTERIAL CELLULOSE*
(*Acetobacter xylinum*) DAN NANOPARTIKEL EMAS (*Au Nanostars*)
SEBAGAI DETEKTOR KEASAMAN SUSU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Sidang Sarjana Strata-1
Program Studi Teknologi Pangan*

Oleh :

Fajar Rifqi Rafsanjani

14.30.20.038



**JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2019**

**PENGEMBANGAN SENSOR pH BERBASIS *BACTERIAL CELLULOSE*
(*Acetobacter xylinum*) DAN NANOPARTIKEL EMAS (*Au Nanostars*)
SEBAGAI DETEKTOR KEASAMAN SUSU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Sidang Sarjana Strata-1
Program Studi Teknologi Pangan*



Oleh :

Fajar Rifqi Rafsanjani

14.30.20.038

Menyetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Hj. Ina Siti Nurminabari, MP.

Agnes Purwidyantri, Ph.D.

**PENGEMBANGAN SENSOR pH BERBASIS *BACTERIAL CELLULOSE*
(*Acetobacter xylinum*) DAN NANOPARTIKEL EMAS (*Au Nanostars*)
SEBAGAI DETEKTOR KEASAMAN SUSU**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Sidang Sarjana Strata-1
Program Studi Teknologi Pangan*

Oleh :

Fajar Rifqi Rafsanjani

14.30.20.038

Mengetahui :

Koordinator Tugas Akhir

Ira Endah Rohima, S.T., M.Si.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR SINGKATAN	Error! Bookmark not defined.
I PENDAHULUAN	8
1.1. Latar Belakang	8
1.2. Identifikasi Masalah	14
1.2. Maksud dan Tujuan	15
1.4. Manfaat Penelitian	15
1.5. Kerangka Pemikiran	16
1.6. Hipotesis Penelitian	20
1.7. Waktu dan Tempat Penelitian	20
II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Biosensor	Error! Bookmark not defined.
2.2. <i>Electrochemical Sensor</i>	Error! Bookmark not defined.
2.3. Potentiostat	Error! Bookmark not defined.
2.4. Elektroda	Error! Bookmark not defined.
2.5. <i>Cyclic Voltammetry</i>	Error! Bookmark not defined.
2.6. <i>Bacterial Cellulose</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7. <i>Indium Tin Oxide (ITO)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.8. <i>Gold Nanoparticles (AuNPs)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9. Susu Segar dan Bahan Olahan Susu	Error! Bookmark not defined.
III METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.

3.1. Bahan dan Alat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.1.1. Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.1.2. Alat.....	Error! Bookmark not defined.
3.2. Metode Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2.1. Penelitian Pendahuluan.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.2. Penelitian Utama.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.3. Penelitian Lanjutan	Error! Bookmark not defined.
3.3. Prosedur Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3.1. Deskripsi Penelitian Pendahuluan	Error! Bookmark not defined.
3.3.2. Deskripsi Penelitian Utama	Error! Bookmark not defined.
3.3.3. Deskripsi Penelitian Lanjutan	Error! Bookmark not defined.
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1. Hasil dan Pembahasan Penelitian Pendahuluan Error! Bookmark not defined.	
4.1.1. Penentuan Lama Pemaparan Sinar UV Error! Bookmark not defined.	
4.1.2. Karakterisasi ITO.....	Error! Bookmark not defined.
4.2. Hasil dan Pembahasan Penelitian Utama	Error! Bookmark not defined.
4.2.1. <i>Water Contact Angle</i> (WCA).....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) Error! Bookmark not defined.	
4.2.3. <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	Error! Bookmark not defined.
4.2.4. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR) ...	Error! Bookmark not defined.
4.2.5. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	Error! Bookmark not defined.
4.2.6. <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV)	Error! Bookmark not defined.
4.3. Hasil dan Pembahasan Penelitian Lanjutan	Error! Bookmark not defined.
V KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1. Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2. Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	21

LAMPIRAN.....Error! Bookmark not defined.



ABSTRAK

Saat ini, perkembangan teknologi yang menuju teknologi *smart sensor* terus berkembang pesat. Biosensor muncul sebagai alat analisis yang sangat efisien untuk pengukuran resolusi tinggi. Kebutuhan akan metode analisis yang cepat, akurat, efektif, efisien dan mudah terus meningkat. Dalam penelitian ini, pengukuran analitis menggunakan potentiostat. Metode *Cyclic Voltametry* (CV) berbasis biosensor ini diharapkan dapat mengukur keasaman susu lebih cepat, akurat dengan proses fabrikasi sederhana.

Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yaitu penelitian pendahuluan, penelitian utama dan penelitian lebih lanjutan. Penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah untuk mengetahui dampak paparan sinar UV pada hidrofilitas ITO. Selain itu, penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk menentukan karakteristik ITO sebelum dan sesudah pemaparan sinar UV. Penelitian utama yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh waktu pertumbuhan *bacterial cellulose* (BC) terhadap karakter morfologi dan kristalinitas permukaan elektroda. Penelitian lebih lanjut dilakukan untuk menentukan respon pH.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa durasi pertumbuhan selulosa BC mempengaruhi kinerja elektroda yang dimodifikasi dan sifat elektrokimia yang berkaitan dengan permukaan aktif elektro. Struktur biosintesis selanjutnya diterapkan untuk sensor pH melalui analisis CV dan digunakan untuk deteksi keasaman dalam sampel susu. Sensor fabrikasi dipertimbangkan untuk memiliki potensi sebagai platform berbiaya rendah dan mudah dibuat untuk penyaringan kualitas susu.

Kata kunci : *bacterial cellulose* (BC), *indium tin oxide*, Au Nanostars, *Cyclic Voltametry* (CV), kualitas susu.

ABSTRACT

Nowadays, the development of technology toward smart sensors technology continues to grow rapidly. Biosensor appears as a very efficient analytical tool for high resolution measurement. The need for fast, accurate, effective, efficient and easy methods of analysis continues to increase. In this study, analytical measurement using potentiostat is conducted. This biosensor-based cyclic voltammetry method is expected to measure milk acidity faster and accurately with simple fabrication process.

The study was divided into 3 stages including preliminary research, main research and further research. The preliminary research was to determine the impact of UV light exposure on the ITO glass hydrophilicity. In addition, this preliminary study aims to determine the characteristics of the ITO glass before and after UV treatment. The main research conducted was to determine the effect of bacterial cellulose growth time on morphology and crystallinity characters of the electrode surface. Further research was conducted to determine the pH response.

The results of this study indicate that bacterial cellulose growth duration affected the performance of modified electrodes morphological and electrochemical properties pertaining to electroactive surface sites generation. The biosynthesized structure was further applied for pH sensor through Cyclic Voltammetry (CV) analysis and used for acidity detection in milk sample. The fabricated sensor is envisaged to hold potency as a low cost and simply fabricated platform for milk quality screening.

Keyword : *bacterial cellulose, indium tin oxide, Au Nanostars, Cyclic Voltammetry (CV), milk quality.*

I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai : (1) Latar Belakang Penelitian, (2) Identifikasi Masalah, (3) Maksud dan Tujuan Penelitian, (4) Manfaat Penelitian, (5) Kerangka Pemikiran, (6) Hipotesis Penelitian, dan (7) Waktu dan Tempat Penelitian.

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini pengembangan teknologi yang mengarah pada *smart sensor* terus dilakukan. Sensor-sensor tersebut ditentukan berdasarkan sensitifitas dan selektifitas terhadap suatu perubahan keadaan. Perubahan keadaannya dapat berupa perubahan keadaan kimia, fisika serta biologi. Teknologi biosensor menggunakan element pengindraan biologis yang terhubung ke *transducer* untuk mengubah pengamatan respon menjadi sinyal listrik yang terukur. Besaran sinyal sebanding dengan konsentrasi dari bahan kimia tertentu yang sedang dianalisis (Verma, 2015).

Biosensor muncul sebagai alat analisis yang sangat efisien untuk resolusi yang baik, terkait dengan teknik deteksi keasaman dan konsentrasi suatu larutan. Biosensor membuka jalan lebih mudah dan deteksi keasaman, dan konsentrasi suatu zat yang efisien dengan akurasi luar biasa. Kemampuan mendeteksi sangat akurat dengan hanya membutuhkan sampel yang sedikit, biaya rendah, dan analisis yang cepat menjadi keunggulan dari teknologi biosensor. Hubungan erat dari peristiwa biologis dengan sinyal menciptakan jalur untuk mengembangkan alat analitis yang mudah digunakan untuk sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi (Neethirajan, Ragavan, Weng, & Chand, 2018).

Kemajuan yang cepat dalam pengembangan biosensor akan mengalami kemajuan pada abad ke-21. Pembuatan biosensor untuk penentuan konsentrasi dan keasaman suatu zat akan menerapkan berbagai elemen biosensing dan berbagai metode *imobilisasi* yang berbeda telah selesai. Berbagai Aspek menguntungkan seperti nanoteknologi juga telah dikolaborasikan dengan teknologi biosensor. Beberapa artikel ulasan sudah diterbitkan menjelaskan semua kemajuan baru di lapangan teknologi biosensor (Bhardwaj, 2015).

Kebutuhan terhadap metode analisis yang cepat, akurat, efektif, efisien dan mudah serta murah terus meningkat. Hal ini tentu saja menjadi tantangan baru bagi peneliti untuk penggunaan dalam bidang industri, instansi pemerintahan bahkan masyarakat banyak, tidak terkecuali di bidang keamanan pangan. Metode yang mulai banyak dikembangkan saat ini adalah teknologi *electrochemical sensor*.

Electrochemical sensor sebenarnya sudah lama dikembangkan, dan banyak pula yang sejenis dengan sensor ini seperti *mass-based biosensor*, *optical sensor*, dan yang lainnya yang sama-sama dikembangkan saat ini, hanya saja *electrochemical sensor* lebih stabil dan praktis dalam pembuatan dan penggunaannya, oleh karena itu, pengembangan *electrochemical sensor* sangatlah potensial. (Lv *et al.*, 2018).

Electrochemical sensor dan biosensor merupakan penemuan yang sangat aplikatif di berbagai bidang, misalnya aplikasi yang luas di berbagai industri, instansi pemerintah bahkan masyarakat luas. Saat ini, banyak instrumen analitis yang digunakan di laboratorium lingkungan, makanan, farmasi, atau klinis dan juga sebagian besar perangkat dan perawatan komersial bekerja menggunakan sensor

kimia atau biosensor, secara keseluruhan atau bagian dasar. Sensor keasaman melalui pH sensor berbasis elektroda adalah contoh yang penting dan dikenal dari sensor elektrokimia. Hari demi hari, jumlah sensor atau biosensor yang datang dari bangku laboratorium penelitian ke rak pasar komersial meningkat. Karena tingginya permintaan pasar dunia dan minat manusia untuk memiliki perangkat untuk memeriksa konsentrasi spesies dalam sampel yang berbeda, sederhana dan cepat. Dalam beberapa tahun terakhir, persaingan keras pada desain dan konstruksi sensor dan biosensor baru telah terjadi di antara peneliti (Neethirajan *et al.*, 2018)

Dengan memanfaatkan *electrochemical sensor* ini, tentu banyak informasi yang didapat dalam hal analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kuantitatif ini akan berguna untuk mengetahui besarnya nilai konsentrasi larutan bahkan keasaman larutan. *Electrochemical sensor* memiliki stabilitas elektrokimia dan tidak mudah terkristalisasi, pengoperasiannya yang sederhana, tidak banyak membutuhkan sampel, dan memiliki ketepatan hasil analisis yang akurat termasuk dalam mendeteksi keasaman susu dengan metode *cyclic voltammetry* (Ma *et al.*, 2018).

Susu merupakan bahan pangan yang tersusun atas berbagai nilai gizi dengan proporsi seimbang. Tingginya kandungan gizi pada susu justru merupakan media yang baik bagi pertumbuhan mikrobia, sehingga susu merupakan salah satu bahan pangan yang mudah rusak atau perishable. Faktor penyebab kerusakan susu dapat meliputi faktor kimia, fisik, dan mikrobiologi. Namun kerusakan susu akibat pengaruh faktor mikrobiologi menjadi penyebab utama terjadinya kerusakan susu. Hal ini diakibatkan karena susu sangat mudah tercemar oleh mikroba, baik pada

waktu proses pemerahan maupun pengolahan, sehingga menjadikan masa simpan susu relatif singkat, yaitu hanya sekitar 5 (lima) jam apabila disimpan dalam suhu ruang (Maitimu, Legowo, & Al-Baarri, 2012)

Penilaian mutu dan produksi susu sering digunakan sebagai tolak ukur adalah berdasarkan uji kualitas susu terhadap komposisi susu dan keadaan fisik susu. Uji kualitas susu dapat ditinjau dari uji alkohol, uji derajat keasaman, dan angka katalase yang merupakan pemeriksaan terhadap keadaan susu yang berguna untuk memeriksa dengan cepat keasaman susu, menentukan adanya kuman-kuman pada air susu (Hadiwiyoto, 1994), dimana susu segar mengandung bakteri pembentuk asam seperti *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc* dan *Pediococcus*.

Dengan menggunakan potentiostat metode *cyclic voltammetry* (CV) berbasis biosensor ini diharapkan dalam pengukuran keasaman susu dapat lebih cepat, akurat dan tidak banyak menghabiskan waktu dalam pengerjaannya. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan elektroda khusus yang dapat mengikat ion guna mendeteksi keasaman suatu larutan atau bahan serta konsentrasi ion.

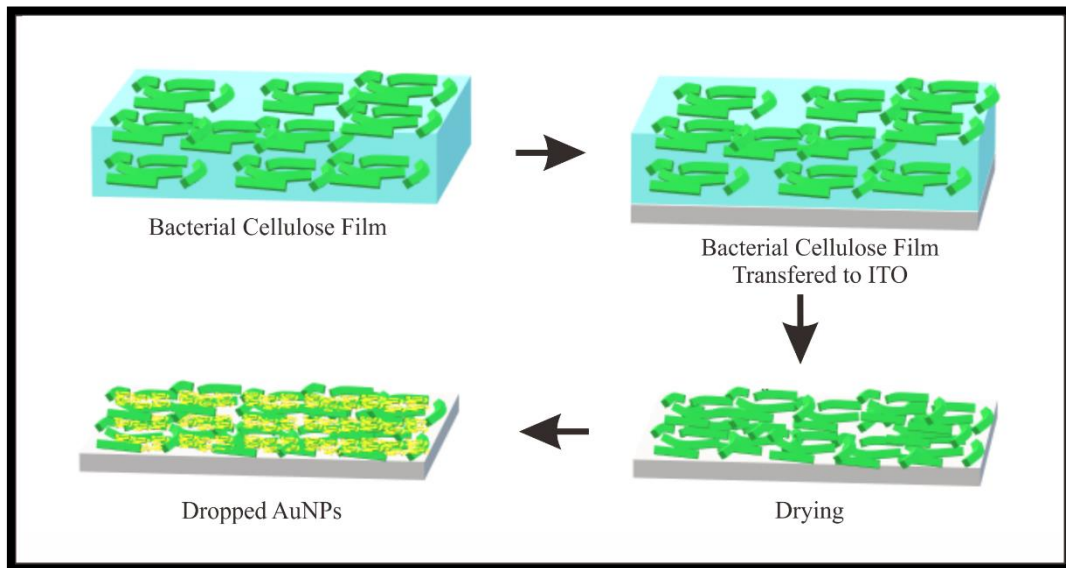
Dengan adanya kemajuan teknologi berbasis instrumen ini akan semakin mendorong peneliti untuk memunculkan ilmu - ilmu baru dalam perkembangannya. Instrumen yang bergerak dalam bidang sensor ini adalah Potensiostat. Pengukuran menggunakan metode CV ini, memerlukan suatu instrumen pengukuran yang tepat. Instrumen yang digunakan pada pengukuran ini dinamakan potensiostat.

Dalam pengukuran pH ini potensiostat menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* yang merupakan salah satu dari bidang elektrokimia. *Electrochemical*

sensor terdiri dari elektroda pembanding (*reference electrode*), elektroda pendukung (*counter electrode* atau *auxillary electrode*) dan elektroda kerja (*working electrode*), yang juga dikenal sebagai elektroda redoks. Elektroda pembanding, umumnya dibentuk dari Ag/AgCl, jaraknya dijaga dari tempat reaksi bertujuan untuk menjaga potensial awal dan potensial stabil. Elektroda pembanding memiliki nilai potensial yang telah diketahui konstan serta tidak sensitif terhadap komposisi larutan yang dianalisis. (Dryden & Wheeler, 2015).

Potentiostat merupakan instrumen yang potensial dalam pengembangannya dan efisien dalam pengerjaannya jika dibandingkan dengan pH meter. Potentiostat memiliki keunggulan seperti hanya membutuhkan sampel yang sedikit, bahkan dapat mendeteksi keasaman suatu larutan dengan hanya tetesan atau *microliter* saja sudah cukup sehingga tidak perlu boros sampel. Selain dari pada itupun proses pembuatan dari elektroda kerja ini cukup mudah dan tidak banyak memakan waktu dikarenakan pembuatannya berbasis dari reaksi kimia.

Dalam penelitian ini, pembuatan elektroda kerja akan mengkombinasikan antara limbah bahan pangan seperti sisa cairan hasil pengolahan *nata de coco* untuk permukaannya dan nano partikel untuk meningkatkan *electro-active area* pada membrane sensor (Lv et al., 2018). Kedua bahan tersebut akan di modifikasi diatas substrat yang disebut *Indium Tin Oxide* (ITO) dengan metode *coating*.



Gambar 1. Ilustrasi Rancangan Penelitian Menggunakan Substrat ITO yang Dimodifikasi dengan BC dan AuNPs

Kebutuhan akan sumber energi saat ini sedang meningkat. Masalah-masalah tersebut diharapkan akan dapat dicarikan solusinya melalui pemanfaatan energi alternatif yang berasal dari bahan-bahan yang tersedia dan belum dimanfaatkan secara lebih luas. Energi alternatif tersebut selain merupakan energi yang ramah lingkungan juga energi yang dapat diperbaharui melalui pemanfaatan misalnya buah-buahan.

Bacterial cellulose (BC) atau selulosa bakteri dapat berguna sebagai permukaan elektroda sebelum di dropnya nano partikel. Seperti namanya, dapat disintesis oleh banyak spesies bakteri sebagai bakteri *Agrobacterium*, *Sarcina*, *Psuedomonas*, *Rhizobium* dan *Acetobacter xylinum*. Menurut Delmer (1999), bakteri yang paling efisien adalah *Acetobacter xylinum*. Ini adalah *aerob obligate* gram negatif sederhana (X. I. Chen, 2014).

BC akan didapat dari limbah sisa pembuatan *nata* dengan dimanfaatkan kembali dengan penambahan variasi gula dan amonium sulfat. Hal ini diperlukan

untuk memperkaya sisa limbah *nata* untuk dijadikan *nata de coco* kembali. Bibit *nata* yang sudah kembali diperkaya dengan nutrisi akan ditumbuhkan diatas kaca konduktif ITO. Setelah *A. xylinum* tumbuh, substrat ITO ini akan dimodifikasi dengan nano partikel untuk memperluas *electro-active area*.

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan desain elektroda dengan metode *coating* konvensional, karakterisasi elektroda dengan metode *Water Contact Angle (WCA)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*, (*Fourier Transform Infra Red*) (FTIR), *X-Ray Diffraction (XRD)*, serta melakukan pengujian kinerja biosensor keasaman yang dikembangkan dengan tes *Cyclic Voltametry (CV)*.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas maka dapat diidentifikasi masalahnya sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap morfologi permukaan elektroda.
2. Bagaimana pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap kristalinitas *electroactive surface area* yang dihasilkan pada elektroda yang dibuat.
3. Bagaimana peran *bacterial cellulose* terhadap nano penangkapan partikel pada penambahan *electroactive surface area* untuk deteksi ion melalui proses reduksi dan oksidasi.

1.3. Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap morfologi, kristalinitas, dan penangkapan partikel pada *electroactive surface area* dari *substrate* termodifikasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan karakteristik terbaik dari sensor dengan variasi lama pertumbuhan *bacterial cellulose* pada lama pertumbuhan yang berbeda.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Sebagai upaya untuk meningkatkan nilai ekonomis dari limbah *nata de coco* dengan dimodifikasi nano partikel.
2. Diharapkan sensor ini dapat berpotensi dalam deteksi keamanan pangan, terutama dalam mengontrol kualitas, kesegaran dan kematangan buah serta penentuan parameter kualitas susu berdasarkan deteksi derajat keasaman.
3. Sebagai alternatif praktis dan murah *fabrikasi solid-state sensor* yang biasanya dilakukan di *cleaning room* dengan teknologi tinggi dan biaya besar, terutama untuk *alternative proses lithography*, dengan menggunakan *bacterial cellulose* untuk meningkatkan karakter morfologi dari sensor, proses dalam penelitian ini dapat di sebut sebagai “*green lithography*” atau “*natural lithography*”.

1.5. Kerangka Pemikiran

Dengan kemajuan dibidang nanoteknologi dan nanosains, amplifikasi sinyal elektrokimia berbasis nanomaterial memiliki potensi besar untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas untuk *electrochemical sensor* dan biosensor. sudah diketahui bahwa elektroda memainkan peran penting dalam pembangunan elektrokimia berkualitas tinggi platform penginderaan untuk mendeteksi molekul target melalui berbagai prinsip analitis, seperti penentuan derajat keasaman suatu larutan dan indeks kematangan buah (Guo, Liu, & Zhang, 2017).

Elektroda yang diproduksi merupakan elektroda kerja atau yang biasa disebut dengan *working electrode* yang digunakan dalam pengujian *electrochemical sensor* menggunakan metode *cyclic voltammetry* (CV). Perlu diketahui bagaimana pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap morfologi, kristalinitas dan penangkapan partikel pada permukaan elektroda yang dibuat. Selain itu, perlu diketahui pula bagaimana peran *bacterial cellulose* terhadap nano partikel *trapping* pada penambahan *electroactive surface area* untuk deteksi ion melalui proses reduksi dan oksidasi.

Studi (Klemm *et al.*, 2005) menunjukkan struktur kristal selulosa secara rinci. Dulu diketahui bahwa struktur hirarkis selulosa dikombinasi oleh ikatan hidrogen. Dengan pengembangan teknologi, lebih banyak metode seperti difraksi sinar-X, FTIR, FE-SEM digunakan untuk menganalisis struktur selulosa di tingkat yang berbeda. Dari analisis molekuler, itu diketahui β -1,4-glycan adalah unit dasar selulosa. β -1,4-glycan akan membentuk benang - benang halus yang dapat merekatkan (X. I. Chen, 2014).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Liang, Wu, Chen, Li, & Yu, 2015) Morfologi dari *bacterial cellulose* yang diperoleh dilakukan oleh *Field emission scanning electron microscopy* (FESEM) menunjukkan bahwa struktur mikropori dengan non-woven memiliki jaringan nanofibers yang kuat secara mekanis yang sangat un-aksial berorientasi diamati pada permukaan lembaran *bacterial cellulose*. Bahkan, *bacterial cellulose* yang diekstraksi menunjukkan struktur jaringan tiga dimensi di mana kantong udara bisa diamati. Ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa struktur molekul *bacterial cellulose*, terdapat gugus hidroksil yang bekerja di antara fibril-fibril *bacterial cellulose* dapat mengganggu gaya kohesi di antara rantai *bacterial cellulose* yang membuat benang-benang halus dari *bacterial cellulose* dapat menangkap objek yang melekat di atasnya (Lv *et al.*, 2018).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Neethirajan *et al.*, 2018) dengan menaikkan *electroactive area* dan modifikasi nanopartikel akan menaikkan *electroactive surface* dari *sensing membrane* menjadi tidak lagi datar/planar, tapi berstruktur dan lebih memiliki permukaan yang tiga dimensi. sehingga penangkapan ion saat pengujian keasaman dapat meningkatkan *sensitivity* dan *specificity*nya.

Area permukaan ITO yang sudah di tumbuh oleh *bacterial cellulose* akan memiliki serat yang kokoh dan merekat pada bagian kaca ITO. Serat inilah yang dibutuhkan bagi nano partikel *trapping* sehingga dapat merekat kuat dan memiliki penetrasi *trapping* yang lebih dalam, serta karakter *bacterial cellulose* rekat juga memodifikasi permukaan elektroda yang akan diproduksi sehingga meningkatkan *electroactive area*.

(M. Wang & Kan, 2018) menyatakan dalam pembuatan elektroda sangat memerlukan listrik yang tinggi dan seragam dengan konduktivitas bahkan di bawah deformasi mekanik. Pada penelitian yang dilakukannya dapat membuktikan jika *gold nanoparticles* (AuNPs) memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *silver nanoparticles* (AgNPs) melalui *cyclic voltamogram*. Penambahan platinum pada LIG berpori 3D sangat meningkatkan kinerja elektrokimia untuk dapat dikenakan aplikasi sensor.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yamamoto & Uno, 2018) mengatakan reaksi redoks membutuhkan dua elektroda pembantu yaitu *reference electrode* dan *counter electrode*. Dua elektroda mengukur oksidasi dan arus reduksi ketika mereka ditahan di potensial positif (oksidatif) dan negatif (reduktif) berkenaan dengan potensi redoks. Dalam penelitian ini, siklus redoks dievaluasi oleh dua jenis teknik pengukuran, *cyclic voltammetry* (CV) dan *chronoamperometry* (CA). Setiap pengukuran mengamati arus elektrokimia dari kimia reaksi yang terjadi pada permukaan elektroda kerja ketika suatu potensial diterapkan pada elektroda-elektroda ini. Dalam pengukuran CV, potensial yang bervariasi secara siklis diterapkan pada elektroda kerja ke elektroda referensi, dan arus elektrokimia pada elektroda kerja diukur. CV saat ini diatur oleh proses transfer-elektron.

Dalam percobaannya (Yamamoto & Uno, 2018), mereka menggunakan *potassium ferrocyanide* sebagai *spesies reversible*. *Ferrocyanide* akan secara reversible teroksidasi / dikurangi oleh CE, dan karenanya akan menunjukkan siklus redoks. Ini dapat diamati sebagai arus *steady state* pada CE, dan arus seperti itu akan sama besarnya. Reaksi ini akan terjadi diamati sebagai arus elektrokimia

dengan demikian, terjadinya arus reduksi pada CE akan menjadi tanda terjadinya redoks dari *ferrocyanide*. Dari hal diatas reaksi redoks ini dapat menentukan derajat keasaman suatu larutan dan indeks kematangan buah.

Susu merupakan bahan minuman yang sesuai untuk kebutuhan hewan dan manusia karena mengandung zat gizi dengan perbandingan yang optimal, mudah dicerna dan tidak ada sisa yang terbuang. Selain sebagai sumber protein hewani, susu juga sangat baik untuk pertumbuhan bakteri. (Resnawati, 2014)

Selama penyimpanan, keasaman susu pasteurisasi meningkat karena sebagian laktosa akan diubah oleh mikroba asam laktat dan asam organik karena besarnya nilai keasaman berbanding terbalik dengan nilai pH, apabila keasaman susu meningkat maka nilai pH akan menurun selama penyimpanan. Hal ini pula disebabkan karena asam-asam organik melepaskan ion-ion H^+ , seperti yang dikemukakan oleh (Maitimu et al., 2012) bahwa nilai pH adalah hasil dari pelepasan ion-ion H^+ asam-asam organik. Selain itu juga menurut (Buckle, K.A *et al.*, 1985) beberapa mikroorganisme khususnya khamir dan kapang dapat memecah asam yang secara alamiah ada dalam produk sehingga mengakibatkan kenaikan nilai pH.

Terjadinya pengasaman oleh bakteri menyebabkan penurunan nilai pH. Hal ini sesuai dengan pendapat (Umar, 2014) bahwa adanya kegiatan mikroorganisme yang menghasilkan asam laktat, dapat menurunkan pH susu menjadi 6,2- 5,9. pH susu segar berkisar 6,5 – 6,8 dan bila terjadi cukup banyak pengasaman oleh aktivitas bakteri maka angka itu akan menurun secara nyata (Soeparno, 1996). (Legowo *et al.*, 2009) menambahkan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan

nilai pH susu adalah sanitasi, lingkungan, penyakit, lama pemerahan, pengenceran, pemanasan serta kurang tepatnya pengukuran.

1.6. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran di atas, diduga bahwa :

1. Adanya pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap morfologi permukaan elektroda.
2. Bagaimana pengaruh lama pertumbuhan *bacterial cellulose* terhadap kristalinitas *electroactive surface area* yang dihasilkan pada elektroda yang dibuat.
3. Bagaimana peran *bacterial cellulose* terhadap nano penangkapan partikel pada penambahan *electroactive surface area* untuk deteksi ion melalui proses reduksi dan oksidasi.

1.7. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Loka Penelitian Teknologi Bersih (LTPB) – LIPI Cisitu, Dago. Penelitian ini dimulai dari bulan September 2018 hingga April 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, Triyantini, Sunarlim, R., Setiyanto, H., & Nurjannah. (2010). **Pengaruh suhu dan waktu pasteurisasi terhadap mutu susu selama penyimpanan.** *Jurnal Ilmu Ternak Dan Veteriner*, 6(1), 45–50. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375185>
- Achmad, R. (2016). **Penipisan Lapisan Ozon**, 1–34.
- Agnes Purwidyantri, Ching Hsiang Chen ,Bing Joe Hwang, Ji-Dung Luo, Chiuan-Chian Chiou, Ya-ChungTian, Chan Yu Lin, Chi-Hui Cheng, C.-S. (2016). **No Spin-coated Au-nanohole arrays engineered by nanosphere lithography for a Staphylococcus aureus 16S rRNA electrochemical sensor**Title, 1086–1094.
- Aritonang, S. N. (2017). **Susu dan Teknologi.** (Handoko, Ed.). Padang, Sumatera Barat, Indonesia: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Badding, M. A., Schwegler-Berry, D., Park, J. H., Fix, N. R., Cummings, K. J., & Leonard, S. S. (2015). **Sintered indium-tin oxide particles induce pro-inflammatory responses in vitro, in part through inflammasome activation.** *PLoS ONE*, 10(4), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124368>
- Batchelor-Mcauley, C., Kätelhön, E., Barnes, E. O., Compton, R. G., Laborda, E., & Molina, A. (2015). **Recent Advances in Voltammetry.** *ChemistryOpen*, 4(3), 224–260. <https://doi.org/10.1002/open.201500042>
- Baxter, R., Hastings, N., Law, A., & Glass, E. J. . (2015). **Electrode Potentiostat.** *Animal Genetics*, 39(5), 561–563.
- Buckle, K.A., Edwards, G.H. Fleet, dan H. W. (1985). **Ilmu Pangan (Terjemahan)**, (Jakarta: Universitas Indonesia), 97–98.
- Chen, R., Das, S. R., Jeong, C., Khan, M. R., Janes, D. B., & Alam, M. A. (2013). **Co-percolating graphene-wrapped silver nanowire network for high performance, highly stable, transparent conducting electrodes.** *Advanced Functional Materials*, 23(41), 5150–5158. <https://doi.org/10.1002/adfm.201300124>
- Chen, X. I. (2014). **Degradation Studies on Plant Cellulose and Bacterial Cellulose by FT-IR and ESEM.**
- Dieter Klemm, Brigitte Heublein, Hans-Peter Fink, A. B. (2005). **Cellulose:**

Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. Literature Review, 44(22):335(Angewandte Chemie International Edition).

- Dima, S. O., Panaitescu, D. M., Orban, C., Ghiurea, M., Doncea, S. M., Fierascu, R. C., ... Oancea, F. (2017). **Bacterial nanocellulose from side-streams of kombucha beverages production: Preparation and physical-chemical properties**. *Polymers*, 9(8), 5–10. <https://doi.org/10.3390/polym9080374>
- Dine, S., Booth, J. P., Curley, G. A., Corr, C. S., Jolly, J., & Guillon, J. (2015). **A novel technique for plasma density measurement using surface-wave transmission spectra**. *Plasma Sources Science and Technology*, 14(4), 777–786. <https://doi.org/10.1039/b9nr00158a>
- Dryden, M. D. M., & Wheeler, A. R. (2015). **DStat: A versatile, open-source potentiostat for electroanalysis and integration**. *PLoS ONE*, 10(10), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140349>
- Du, J., Chen, X. liang, Liu, C. chi, Ni, J., Hou, G. fu, Zhao, Y., & Zhang, X. dan. (2014). **Highly transparent and conductive indium tin oxide thin films for solar cells grown by reactive thermal evaporation at low temperature**. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 117(2), 815–822. <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8436-x>
- Durst, R. A. (2014). **Chemically modified electrodes: Recommended terminology and definitions (IUPAC Recommendations 1997)**. *Pure and Applied Chemistry*, 69(6), 1317–1324. <https://doi.org/10.1351/pac199769061317>
- Francesco, Ampelli, C., Leonardi, S. G., & Neri, G. (2018). **Ti Electrode**. <https://doi.org/10.3390/s18103566>
- Griffiths, P. de Hasseth, J. A. (2007). *Fourier Transform Infrared Spectrometry*.
- Guo, B., Liu, B., & Zhang, S. G. (2017). **Using coal fly ash-based geopolymers to immobilize Cd from lead fuming furnace slag**. *Rare Metals*, 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12598-017-0955-0>
- Huaman, M. A., Fiske, C. T., Jones, T. F., Warkentin, J., Shepherd, B. E., Maruri, F., & Sterling, T. R. (2015). HHS Public Access, 143(5), 951–959. <https://doi.org/10.1017/S0950268814002131>.Tuberculosis
- Huang, Y., Xu, J., Liu, J., Wang, X., & Chen, B. (2017). **Disease-related detection with electrochemical biosensors: A review**. *Sensors (Switzerland)*, 17(10), 1–30. <https://doi.org/10.3390/s17102375>
- Kaushlendra, B. C. Y., Satyendra, A., & Yadav, S. T. P. (2016). **Fabrication and characterization of nanostructured indium tin oxide film and its application**

- as humidity and gas sensors. Journal of Materials Science: Materials in Electronics.* <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4279-x>
- Kibar, E. ., & Ferhunde, U. (2016). *Starch-cellulose ether film: microstructure and water resistance.* *Food Processing Engineering*, 1–8.
- Kile, B. M., Walsh, P. L., McElligott, Z. A., Bucher, E. S., Guillot, T. S., Salahpour, A., ... Wightman, R. M. (2012). *Optimizing the temporal resolution of fast-scan cyclic voltammetry.* *ACS Chemical Neuroscience*, 3(4), 285–292. <https://doi.org/10.1021/cn200119u>
- Konig, T. A. F., Ledin, P. A., Kerszulis, J., Mahmoud, M. A., El-Sayed, M. A., Reynolds, J. R., & Tsukruk, V. V. (2014). *Electrically Tunable Plasmonic Behavior of Nanocube-Polymer Nanomaterials Induced by a {Redox}-Active Electrochromic Polymer.* *ACS Nano*, 8(6), 6182–6192. <https://doi.org/10.1021/nn501601e>
- Krishnamurthy, S., Esterle, A., Sharma, N. C., & Sahi, S. V. (2014). *Yucca-derived synthesis of gold nanomaterial and their catalytic potential.* *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-627>
- Legowo, A. M., K. dan S., & Mulyani. (2009). *Ilmu dan Teknologi Susu*, (Badan Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang).
- Liang, H. W., Wu, Z. Y., Chen, L. F., Li, C., & Yu, S. H. (2015). *Bacterial cellulose derived nitrogen-doped carbon nanofiber aerogel: An efficient metal-free oxygen reduction electrocatalyst for zinc-air battery.* *Nano Energy*, 11, 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.11.008>
- Lv, P., Zhou, H., Mensah, A., Feng, Q., Wang, D., Hu, X., ... Wei, Q. (2018). *A highly flexible self-powered biosensor for glucose detection by epitaxial deposition of gold nanoparticles on conductive bacterial cellulose.* *Chemical Engineering Journal*, 351(February), 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.098>
- Ma, L., Wang, L., Chen, R., Chang, K., Wang, S., Hu, X., ... Hu, J. (2018). *A Low Cost Compact Measurement System Constructed Using a Smart Electrochemical Sensor for the Real-Time Discrimination of Fruit Ripening.* <https://doi.org/10.3390/s16040501>
- Maitimu, C. V., Legowo, A. M., & Al-Baarri, A. N. (2012). *Parameter Keasaman Susu Pasteurisasi Dengan Penambahan Ekstrak Daun Aileru (Wrightia Caligria)*, 1(1), 7–11.
- Mccarty, S., & Wightman, R. M. (2011). *Characterization of Local pH Changes*

- in Brain Using Fast-Scan Cyclic Voltammetry with Carbon Microelectrodes*, 82(23), 9892–9900. <https://doi.org/10.1021/ac102399n>. Characterization
- Medicine, C. (2008). Dept. of Community Medicine, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria., 6(1), 21–26.
- Min Lu, R. G. C. (2014). *Voltammetric pH sensor based on an edge plane pyrolytic graphite electrode*. DOI: 10.1039/C4AN00147H, 139.
- Moniri, M., Moghaddam, A. B., Azizi, S., Rahim, R. A., Ariff, A. Bin, Saad, W. Z., ... Mohamad, R. (2017). *Production and Status of Bacterial Cellulose in Biomedical Engineering*, 1–26. <https://doi.org/10.3390/nano7090257>
- Neethirajan, S., Ragavan, V., Weng, X., & Chand, R. (2018). *Biosensors for sustainable food engineering: Challenges and perspectives*. *Biosensors*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/bios8010023>
- Oxidation Technologies. (2016). *Ozone production from UV*. Retrieved from <https://www.oxidationtech.com/ozone/ozone-production/uv-lamp.html>
- Purbasari, A., Pramono, Y. B., & Muhammad, B. (2014). **Nilai pH , Kekentalan , Citarasa Asam , dan Kesukaan pada Susu Fermentasi dengan Perisa Alami Jambu Air (Syzygium sp)**, 3(4), 174–177.
- Resnawati, H. (2014). **Kualitas Susu Pada Berbagai Pengolahan Dan Penyimpanan**. Semiloka Nasional Prospek Industri Sapi Perah Menuju Perdagangan Bebas, 497–502.
- Rohaeti, E., Laksono, E., & Rakhmawati, A. (2017). *Characterization and the activity of bacterial cellulose prepared from rice waste water by addition with glycerol and chitosan*. *Agricultur and Biological Science*, 12 (8), 241–248.
- SCME. (2014). *Introduction to Transducers, Sensors, and Actuators*. Southwest Center for Microsystems Education (SCME) University of New Mexico, 4. Retrieved from http://engtech.weebly.com/uploads/5/1/0/6/5106995/more_on_transducers_sensors_actuators.pdf
- Smallman, R. ., & Bishop, R. J. (1999). **Metalurgi fisik modern & rekayasa material**. (S. Djaprie, Ed.). Jakarta: Erlangga.
- Soeparno. (1996). *Pengolahan Hasil Ternak*, (Universitas Terbuka. Jakarta.).
- Stokes, D. J. (2008). *Principles and Practice of Variable Pressure Environmental Scanning Electron Microscopy* (VP-ESEM).
- Umar. (2014). **Derajat Keasaman dan Angka Reduktase Susu Sapi Pasteurisasi**

dengan Lama Penyimpanan yang Berbeda. Universitas Syiah Kuala.

- Vasilescu, A., Nunes, G., Hayat, A., Latif, U., & Marty, J. L. (2016). *Electrochemical affinity biosensors based on disposable screen-printed electrodes for detection of food allergens.* *Sensors (Switzerland)*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/s16111863>
- Verma, N., & Bhardwaj, A. (2015). *Biosensor Technology for Pesticides—A review.* *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1489-2>
- Wang, M., & Kan, X. (2018). *Multilayer sensing platform: gold nanoparticles/prussian blue decorated graphite paper for NADH and H₂O₂ detection.* *The Analyst*. <https://doi.org/10.1039/C8AN01502C>
- Wang, S. (2014). *How to UV Ozone Cleaning.*
- Wang, W. S., Kuo, W. T., Huang, H. Y., & Luo, C. H. (2014). *Wide dynamic range CMOS potentiostat for amperometric chemical sensor.* *Sensors*, 10(3), 1782–1797. <https://doi.org/10.3390/s100301782>
- Winarno. (2007). *Kimia Pangan dan Gizi*, 1–3.
- Yamamoto, S., & Uno, S. (2018). *Redox cycling realized in paper-based biochemical sensor for selective detection of reversible redox molecules without micro/nano fabrication process.* *Sensors (Switzerland)*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/s18030730>
- Yuan, Y., & Lee, T. R. (2013). *Contact Angle and Wetting Properties.* <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1>