

Kode/Nama Rumpun Ilmu: 464/Teknik Mekatronika

Bidang Fokus : Teknologi Informasi dan Komunikasi

LAPORAN AKHIR



SKEMA PENELITIAN DOSEN PEMULA (PDP)

TEMPERATURE AND FERMENTATION CONTROLLED CHAMBER (TFCC)
DENGAN TEKNOLOGI *HYBRID SYSTEM* SEBAGAI ALAT
MONITORING KUALITAS MAKANAN BERFERMENTASI

TIM PENGUSUL

Ahmad Rofi'I, S.Pd, M.Pd (NIDN : 0019088304)

Fendik Eko Purnomo, S.Pd, M.T. (NIDN : 8899010016)

Faisal Lutfi Afriansyah, S.Kom., M.T (NIDN : 0029049102)

Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Jember
SP DIPA - SP DIPA-023.18.2.677607/2022 17 November 2020
Tahun Anggaran 2022

POLITEKNIK NEGERI JEMBER

NOVEMBER 2022

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 464/Teknik Mekatronika

Bidang Fokus : Teknologi Informasi dan Komunikasi

LAPORAN AKHIR



SKEMA PENELITIAN DOSEN PEMULA (PDP)

***TEMPERATURE AND FERMENTATION CONTROLLED CHAMBER
(TFCC) DENGAN TEKNOLOGI HYBRID SYSTEM SEBAGAI ALAT
MONITORING KUALITAS MAKANAN BERFERMENTASI***

TIM PENGUSUL

Ahmad Rofi'I, S.Pd, M.Pd (NIDN : 0019088304)

Fendik Eko Purnomo, S.Pd, M.T. (NIDN : 8899010016)

Faisal Lutfi Afriansyah, S.Kom., M.T (NIDN : 0029049102)

Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Jember
SP DIPA - SP DIPA-023.18.2.677607/2022 17 November 2020
Tahun Anggaran 2022

**POLITEKNIK NEGERI JEMBER
NOVEMBER 2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) dengan Teknologi Hybrid System Sebagai Alat Monitoring Kualitas Makanan Berfermentasi*

Pelaksana

Nama Lengkap : Ahmad Rofi'i, S.Pd, M.Pd
NIDN : 0019088304
Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
Program Studi : Teknologi Rekayasa Mekatronika
Nomor HP : 081336512142
Alamat surel (email) : rofii@polije.ac.id
ID Sinta/Scopus : 6690620

Anggota (1)

Nama Lengkap : Fendik Eko Purnomo, S.Pd, M.T
NIDN : 8899010016
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jember
ID Sinta/Scopus : 6141719

Anggota (2)

Nama Lengkap : Faisal Lutfi Afriansyah, S.Kom, M.T
NIDN : 00290449102
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jember
ID Sinta/Scopus : 6141692

Institusi Mitra (jika ada)

Nama institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Biaya Tahun Berjalan : Rp 20.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 20.000.000,00

Mengetahui,
Kepala P3M



Dr. Ir. Budi Hariono, M.Si
NIP. 196605191992021001

Jember, 24 November 2022

Ketua

A handwritten signature in black ink, which appears to be 'Ahmad Rofi'i', is written over the text 'Ketua' and the name 'Ahmad Rofi'i, S.Pd, M.Pd'.

Ahmad Rofi'i, S.Pd, M.Pd
NIDN. 0019088304

RINGKASAN

Indonesia adalah negara yang kaya akan produk pangan dan menjadi salah satu penopang perekonomian bangsa. Salah satu produk pangan lokal yang menjadi kebanggaan bangsa adalah produk pangan fermentasi. Dengan segala kelemahan prosedur dan produk pangan fermentasi yang telah ada, maka perlu adanya sentuhan sekaligus peran teknologi dalam meningkatkan mutu produk pangan berfermentasi menjadi lebih baik. Banyak temuan inovasi teknologi yang sudah mencoba memberikan solusi, namun masih ditemukan kelemahan dengan belum terintegrasinya fungsi alat. Sebagai bagian dari solusi adalah dengan penggunaan *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat produksi sekaligus monitoring kualitas produk pangan berfermentasi. Pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancang bangun alat produksi dan monitoring produk makanan berfermentasi dengan sistem kerja yang efektif dalam memproduksi makanan berfermentasi. Rancang bangun alat ini terintegrasinya sistem pada *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yaitu sebagai alat produksi sekaligus memonitoring kualitas makanan berfermentasi, baik tingkat kematangan, derajat keasaman, derajat glukosa dan alkohol. Alat tersebut dilengkapi dengan sistem secara otomatis yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat. Metode penelitian ini adalah eksperimental. Tahapan penelitian ini antara lain; studi literatur, desain rancangan alat, mempersiapkan alat dan bahan, pembuatan alat, pengujian dan kalibrasi, penggunaan alat dengan menguji pada proses produksi singkong yang difermentasi, dianalisa data dengan memperhatikan sistem kerja dan kandungan produk pangan, kesimpulan dan selesai. Luaran dan target pada penelitian ini adalah adanya produk *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat produksi dan monitoring kualitas produk makanan berfermentasi, mengikuti *international conference ICOFA*, hasil analisa data dapat diterbitkan oleh Jurnal Nasional dan Hak Kekayaan Intelektual berupa Hak Cipta dengan status *granted*. Kontribusi yang dapat diberikan adalah dapat membantu *Teaching Factory (TeFa)* Polije dalam bidang produksi pangan serta dapat menjadi rintisan TeFa baru dalam perancangan alat produksi yang mensupport industri pedagang dan sentra UMKM bidang pangan untuk dapat memanfaatkan alat produksi dan monitoring kualitas makanan fermentasi sebagai alat yang dapat meningkatkan mutu dan kualitas makanan berfermentasi.

Kata kunci : *Temperature And Fermentation Controlled Chamber, Hybrid System, Fermentasi*

PRAKATA

Puji syukur atas nikmat yang senantiasa diberikan dan semoga kita mampu dapat memanfaatkan setiap nikmat untuk kemanfaatan dan kepentingan masyarakat. Salah satu aspek yang menjadi ciri utama dalam kemanfaatan tersebut adalah berperannya setiap potensi yang dimiliki untuk difokuskan pada pemanfaatan dan nilai kepentingan yang berfungsi secara langsung serta memberi dampak positif bagi keberlangsungan kehidupan masyarakat. Salah satunya adalah berfungsinya peran pendidikan yang memiliki basis keilmuan dan teknologi untuk ikut serta dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh masyarakat. Melalui program penelitian program PNBP tahun 2022 pada skema penelitian dosen pemula menjadi sarana dan fasilitas dalam menjembatani kepentingan akademisi untuk terlibat langsung pada penyelesaian problem masyarakat.

Dengan terselesaikannya laporan kemajuan penelitian skema penelitian dosen pemula program PNBP tahun 2021, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Direktur Politeknik Negeri Jember
2. Ketua Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember
3. Ketua Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember
4. Koordinator Bidang Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri Jember
5. Tim Pelaksana Kegiatan Penelitian
6. Teknisi Laboratorium Jurusan Teknik Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri Jember
7. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian.

Laporan akhir pelaksanaan penelitian masih terdapat kesalahan dan kelemahan dalam banyak hal, oleh karena itu dibutuhkan banyak masukan dan ide dalam menyempurnakan laporan.

Jember, 17 September 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	10
BAB 4. METODE PENELITIAN	12
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	19
BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	33
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN (bukti luaran yang didapatkan)	
- Artikel ilmiah (<i>draft</i> , status <i>submission</i> atau <i>reprint</i>), dll.	
- HKI, publikasi dan produk penelitian lainnya	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tabel Pengujian	17
Tabel 5.1. Prosentase rata-rata kadar alkohol	27
Tabel 5.2. Analisa Regresi Berganda	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur sistem teknologi fermentasi	3
Gambar 2.2 skema proses fermentasi	4
Gambar 2.3 Ikatan Hidrogen Alkohol	6
Gambar 2.4 Sensor MQ-3	6
Gambar 2.5 Rangkaian dasar sensor MQ-3	7
Gambar 2.6 pH sensor SEN0161	8
Gambar 2.7 Termokopel tipe K	8
Gambar 2.8 STM 32 Board	9
Gambar 2.9.Roadmap Penelitian	9
Gambar 4.1 Diagram alir Penelitian	14
Gambar 4.2 Desain <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System</i>	15
Gambar 4.3 <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System Part Operational</i>	16
Gambar 3.4 sistem kerja instrumentasi pada <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System</i>	18
Gambar 5.1 Desain Alat <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System</i>	19
Gambar 5.2 Desain rangkain komponen elektronika Alat <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System</i>	20
Gambar 5.3 Penempatan komponen dan bahan	21
Gambar 5.4 Proses pemotongan dan pengukuran plat	22
Gambar 5.5 Proses perangkaian komponen yang terintegratif	22
Gambar 5.6 Proses pengujian dan pengelasan	23
Gambar 5.7 Hasil uji fungsi alat	23
Gambar 5.8 Hasil uji pengukuran suhu	24
Gambar 5.9 Hasil uji komponen rangkaian monitoring	24
Gambar 5.10. Proses produksi dan pengukuran fermentasi alkohol pada <i>TFCC</i>	25
Gambar 5.11. Grafik suhu harian pada suhu 27 – 30 ⁰ C	26
Gambar 5.12. Kondisi Tape dengan suhu 27 – 30 ⁰ C	26
Gambar 5.13. Grafik kadar pH	26
Gambar 5.14. Grafik prosentase rata-rata alkohol	27
Gambar 5.15 alat <i>Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)</i> dengan Teknologi <i>Hybrid System</i>	30
Gambar 5.16 Lembar submitted pmateri pada seminar Internasional ICOFA (<i>.International Conference on Food and Agriculture</i>) tahun 2022	30

Gambar 5.17 Lembar submitted pemateri pada seminar Internasional ICOFA (<i>International Conference on Food and Agriculture</i>) tahun 2022	31
Gambar 5.18 Lembar submitted artikel pada jurnal Inovasi	31
Gambar 5.19 Sertifikat Hak kekayaan intelektual Hak Cipta	32

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 . Desain rancang bangun
- Lampiran 2 . alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*
dengan Teknologi *Hybrid System*
- Lampiran 3. Submitted author ICOFA 2022
- Lampiran 4 . Sertifikat Hak kekayaan intelektual Hak Cipta
- Lampiran 5. Draf artikel publish pada jurnal inovasi

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang kaya makanan yang terbuat dari berbagai pangan lokal, salah satunya pangan berfermentasi. Bahkan pada perkembangannya, makanan fermentasi telah menjadi produk lokal yang menjadi kebanggaan nasional. Produk-produk pangan fermentasi lokal tersebut memiliki ciri khas masing-masing tergantung pada hasil pangan lokal dan budaya yang sangat erat dengan karakteristik masyarakat [1]. Pada proses fermentasi, mikroorganisme menghidrolisis senyawa karbohidrat menjadi asam-asam organik, gula reduksi, oligosakarida dan beberapa pati resisten yang berpotensi menjadi prebiotik [2], [3]. Sementara prebiotik dapat memberikan manfaat dalam memperbaiki keseimbangan dalam saluran pencernaan dan sistem imun [4].

Proses pengolahan makanan dengan cara fermentasi merupakan pengolahan makanan secara tradisional yang sudah dikenal sejak lama dan merupakan metode pengawetan makanan tertua. Sementara pengolahan makanan berfermentasi yang mengabaikan ketentuan kesehatan yang berlaku, seperti kandungan alkohol yang berlebihan dan hasil fermentasi dengan probiotik yang tinggi akan mengakibatkan gangguan kesehatan [5]. Sebagaimana diatur pada rekomendasi badan kesehatan dunia, WHO bahwa kandungan konsumsi gula perhari adalah 10% dari total energi atau setara dengan 50 gram perorang perhari..

Dengan permasalahan klasik yang masih terjadi di masyarakat, maka diperlukan sentuhan teknologi sebagai salah satu solusi dalam meminimalkan dampak negatif dari pengolahan makanan berfermentasi. Di antara bentuk sentuhan teknologi tersebut telah tampak diberlakukan di masyarakat, seperti alat pendeteksi kematangan dan kontrol pada tape sebagai salah satu objek makanan berfermentasi [6]. Temuan tersebut hanya dapat mendeteksi dan mengontrol kematangan saja, tanpa mengetahui kandungan unsur probiotik, kandungan alkohol serta derajat keasaman yang ditimbulkan dari proses kematangan makanan tersebut. Temuan lain adalah alat pendeteksi kadar alkohol untuk jenis minuman beralkohol menggunakan sensor MQ-3 berbasis Atmega328 [7]. Penemuan tersebut hanya terpusat pada analisa kadar alkohol minuman, namun mengabaikan proses fermentasinya. Dari beberapa temuan yang masih terbatas tersebut, maka diperlukan inovasi baru yang

lebih fleksibel dan dapat mengintegrasikan keperluan yang dibutuhkan sehingga menghasilkan produk pangan berfermentasi yang berkualitas.

Salah satu alat yang dapat menjamin pertumbuhan mikroba pada fermentasi serta produk dari mikroba tersebut adalah bioreaktor. Masalah utama pada bioreaktor pada produksi yang ada adalah pemerataan medium kultur dan belum adanya kontrol dan monitor secara terintegrasi yang dapat menunjang proses produksi pangan berfermentasi [8]. Terlebih lagi pada sistem pengolahan pangan fermentasi skala tradisional lebih mengabaikan kontrol dan monitoring hasil produksi, mulai dari tingkat derajat keasaman, kandungan alkohol dan kematangan.

Berdasarkan pemaparan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian dengan merancang suatu alat bentuk rancang bangun dalam pembuatan makanan berfermentasi yang terintegrasi melalui medium yang berfungsi sebagai tungku pemasak dan kontrol monitoring kualitas makanan, mulai dari derajat keasaman, kandungan glukosa hingga kandungan alkohol yang dikontrol oleh sistem module otomasi dan sensor melalui Rancang Bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat untuk memproduksi sekaligus memonitoring kualitas makanan berfermentasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dirumuskan beberapa rumusan masalah dari penelitian ini yaitu :

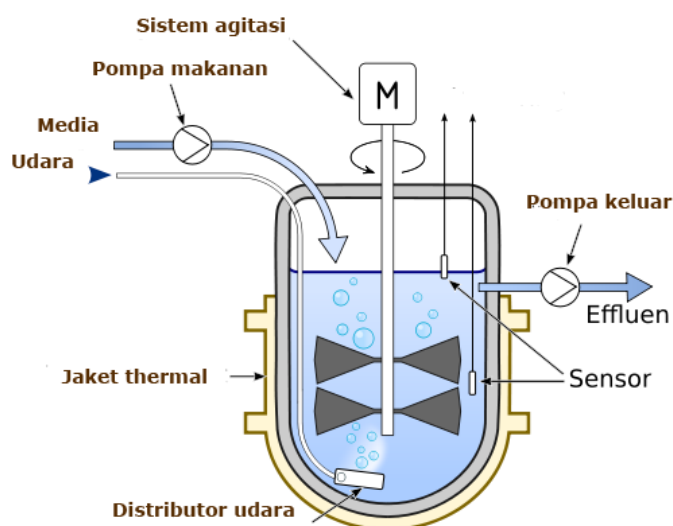
- 1) Bagaimana bentuk rancang bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat produksi dan monitoring kualitas makanan berfermentasi?
- 2) Bagaimana efektifitas dan sistem kerja *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat produksi dan monitoring kualitas makanan berfermentasi yang dihasilkan?

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Fermentasi

Teknologi fermentasi merupakan teknologi yang tersistem dengan lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia dari bahan mentah menjadi bahan yang dikehendaki. Di dalam sistem tersebut terjadi reaksi biokimia yang melibatkan organisme atau komponen biokimia aktif/ enzim yang berasal dari organisme tertentu [9]. Bahan yang dibuat pada alat dengan teknologi fermentasi terbuat dari *stainless steel* karena bahan tersebut tidak bereaksi dengan bahan-bahan yang berada pada reaksi sehingga tidak mengganggu proses yang terjadi. Faktor lain yang menjadi pertimbangan adalah bahan anti karat dan tahan panas.

Sistem tersebut harus dapat menciptakan lingkungan yang optimum untuk reaksi yang terjadi. Sementara parameter yang biasa dikontrol pada sistem adalah derajat keasaman (pH), suhu dan faktor penyerta yang menyertainya [10].



Gambar 2.1 Struktur sistem teknologi fermentasi

Perancangan sistem teknologi fermentasi merupakan pekerjaan teknik yang kompleks. Pada bagian dalam dipasang sekat untuk mencegah dan meningkatkan efisiensi aerasi. Bagian lain yang ada pada bagian dalam bioreaktor adalah proses kondensasi saat terjadi sterilisasi dan filter untuk menyaring udara yang masuk dan keluar sehingga dapat menjamin sterilisasi sirkulasi udara yang berproses. Untuk proses dalam bioreaktor harus dijaga kondisi agar tetap terkontrol, maka digunakan sensor pH dan suhu. Apabila kondisi di dalam bioreaktor mengalami perubahan, maka sensor akan memperingatkan dan harus dilakukan perlakuan tertentu [11].

2.2 Fermentasi

2.2.1 Pengertian, Tahapan dan Manfaat Fermentasi

Fermentasi merupakan suatu cara untuk mengubah substrat menjadi produk tertentu yang dikehendaki dengan menggunakan bantuan mikroba. Produk-produk tersebut biasanya dimanfaatkan sebagai minuman atau makanan. Fermentasi suatu cara telah dikenal dan digunakan sejak lama sejak jaman kuno. Sebagai suatu proses fermentasi memerlukan; mikroba sebagai inokulum, tempat (wadah) untuk menjamin proses fermentasi berlangsung dengan optimal, substrat sebagai tempat tumbuh (medium) dan sumber nutrisi bagi mikroba [5].



Gambar 2.2 skema proses fermentasi

Tahapan proses fermentasi diawali dari formulasi medium yang dipakai untuk menumbuhkan mikroorganisme, baik pada pengkayaan ataupun proses produksi. Selanjutnya dilakukan sterilisasi medium, fermentor/bioreaktor dan perlengkapannya. Optimalisasi dan produksi kultur atau campuran yang cukup pada tahap fermentasi produk dengan kondisi optimum hingga dilakukan proses ekstraksi dan pembuangan limbah medium yang dihasilkan.

Manfaat dari fermentasi antara lain [3]:

- 1) Memperkaya variasi makanan dengan mengubah rasa, aroma dan tekstur makanan;
- 2) Mengawetkan makanan agar menghasilkan asam laktat, alkohol dan asam asetat;
- 3) Memperkaya nutrisi makanan dengan menambahkan sejumlah vitamin dan protein;
- 4) Mengurangi waktu dan sumber daya yang diperlukan dalam memproses makanan

2.2.2 Fermentasi Pangan

Produk pangan berfermentasi sudah berlangsung sangat panjang. Hal yang sama seperti perjalanan perkembangan pangan tradisional lainnya. Metode dan cara pembuatan pangan fermentasi telah diwariskan secara turun temurun pada generasi-

generasi selanjutnya. Proses fermentasi pada pangan dari satu masa ke masa berikutnya mengalami perubahan. Pada proses fermentasi pangan masa lalu tidak berdasarkan pada kajian ilmiah peran mikroba dalam merubah karakteristik pangan, tetapi hanya didasarkan pada tradisi bahwa teknik penyimpanan dan penanganan bahan pangan.

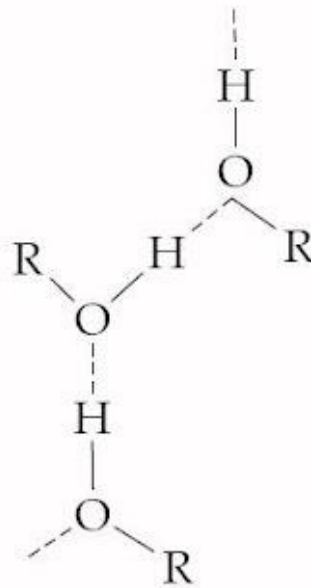
Pada awalnya tujuan fermentasi adalah untuk mengawetkan pangan yang bersifat musiman dan mudah rusak [5]. Sejalan dengan perkembangan teknologi dan metode alternatif pengawetan pangan, maka produk pangan fermentasi saat ini lebih fokus pada perubahan tekstur, aroma dan rasanya yang dibuat secara unik dan inovatif. Sementara kelebihan produk pangan berfermentasi adalah pemecahan komponen yang kompleks menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana menyebabkan produk fermentasi lebih mudah dicerna dari pada produk pangan asalnya [2]. Beberapa produk pangan berfermentasi bermanfaat bagi kesehatan dengan adanya peningkatan kandungan vitamin, antioksidan dan senyawa lain. Selain dari itu juga dapat membantu menjaga kesehatan saluran pencernaan dengan adanya mikroba baik.

2.3 Pendeteksi Kadar Produk Pangan Berfermentasi

2.3.1 Kandungan Alkohol dan Sensor MQ-3 Pendeteksi Kadar Alkohol

Alkohol (C_2H_5OH) adalah cairan transparan, tidak berwarna, cairan yang mudah bergerak, mudah menguap, dapat bercampur dengan air, eter, dan kloroform, diperoleh melalui fermentasi karbohidrat dari ragi. Alkohol merupakan zat pelarut dan bahan dasar paling umum yang digunakan di laboratorium dan di dalam industri kimia. Etil alkohol dapat dibuat dari apa saja yang dapat difermentasi oleh khamir. Salah satu pemanfaatan khamir yang paling penting dan paling terkenal adalah produk etil alkohol dari karbohidrat. Proses fermentasi ini dimanfaatkan oleh para pembuat bir, roti, anggur, bahan kimia, para ibu rumah tangga, dan lain-lain [12].

Klasifikasi alkohol didasarkan pada jenis atom C yang mengikat gugus $-OH$, sehingga alkohol dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu alkohol primer, alkohol sekunder dan tersier.



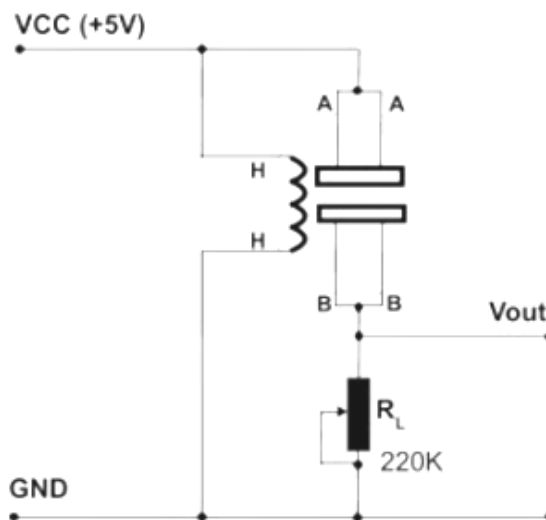
Gambar 2.3 Ikatan Hidrogen Alkohol [5]

Untuk mengukur dan mendeteksi kadar alkohol pada hasil makanan berfermentasi yang telah diproduksi dan dimasak, maka digunakan sensor MQ-3. Sensor tersebut menggunakan 1 buah variabel resistor saja. Output dari sensor MQ-3 berupa tegangan analog yang sebanding dengan alkohol yang diterima. Menggunakan fungsi ADC untuk dapat berkomunikasi dengan *mikrokontroler*. ADC dapat merespon tegangan 0 – 5 volt saja.



Gambar 2.4 Sensor MQ-3 [7]

Dibandingkan sensor alkohol lainnya, sensor MQ-3 memiliki harga yang lebih murah dengan sensitifitas yang mirip, namun konsumsi dayanya lebih besar, yakni sekitar 750 mW [13]. Sensor ini digunakan untuk menangkap kandungan uap alkohol yang menguap dari cairan yang akan dideteksi. Semakin banyak kandungan uap alkohol yang terdeteksi maka resistansi sensor akan menjadi semakin kecil. sehingga tegangan keluaran sensor menjadi semakin besar.



Gambar 2.5 Rangkaian dasar sensor MQ-3 [7]

Sensor alkohol MQ-3 merupakan sensor yang cocok untuk mendeteksi kadar alkohol secara langsung. Sensor MQ-3 memiliki rangkaian yang sangat sederhana karena hanya membutuhkan 1 buah resistor dengan output dalam bentuk tegangan yang sebanding dengan kadar alkohol yang diterima.

2.3.2 Kandungan kadar keasaman dengan *pH Sensor SEN0161*

Nilai pH menunjukkan tingkat konsentrasi ion hidrogen yang terdapat dalam makanan dengan derajat keasaman suatu bahan. Nilai pH sangat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yang dapat tumbuh dan dalam proses pengolahan pangan yang berfermentasi [14]. Pada prinsipnya sistem sensor pH terdiri dari elektroda pH yang digunakan untuk mendeteksi banyaknya ion dari suatu cairan, dan didasarkan pada potensial elektro kimia yang terjadi antara larutan yang terdapat didalam elektroda gelas (membrane gelas) yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat diluar elektroda gelas yang tidak diketahui Elektroda pH yang paling modern terdiri dari kombinasi tunggal elektroda referensi (*reference electrode*) dan elektroda sensor (*sensing electrode*). Elektroda ini memonitor perubahan voltase yang disebabkan oleh perubahan aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan sehingga pH larutan dapat diketahui.



Gambar 2.6 pH sensor SEN0161 [14]

2.3.3 Pengukuran Suhu Kematangan dan produk dengan *thermocouple* type K dan MAX6775

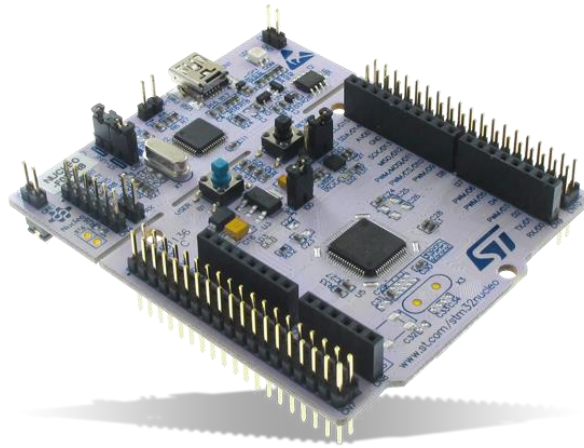
Termokopel tipe K merupakan salah satu jenis sensor temperatur yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Temperatur. Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan temperatur dan juga rentang temperatur operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 1250°C . Selain respon yang cepat dan rentang temperatur yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan. Termokopel ini berbahan dasar Chromel dan Alumel yang mempunyai sensitivitas rata-rata $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Sedangkan MAX6775 dibentuk dari kompensasi coldjunction yang output didigitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. data output memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroler secara umum



Gambar 2.7 Termokopel tipe K [14]

2.4. STM 32 Board

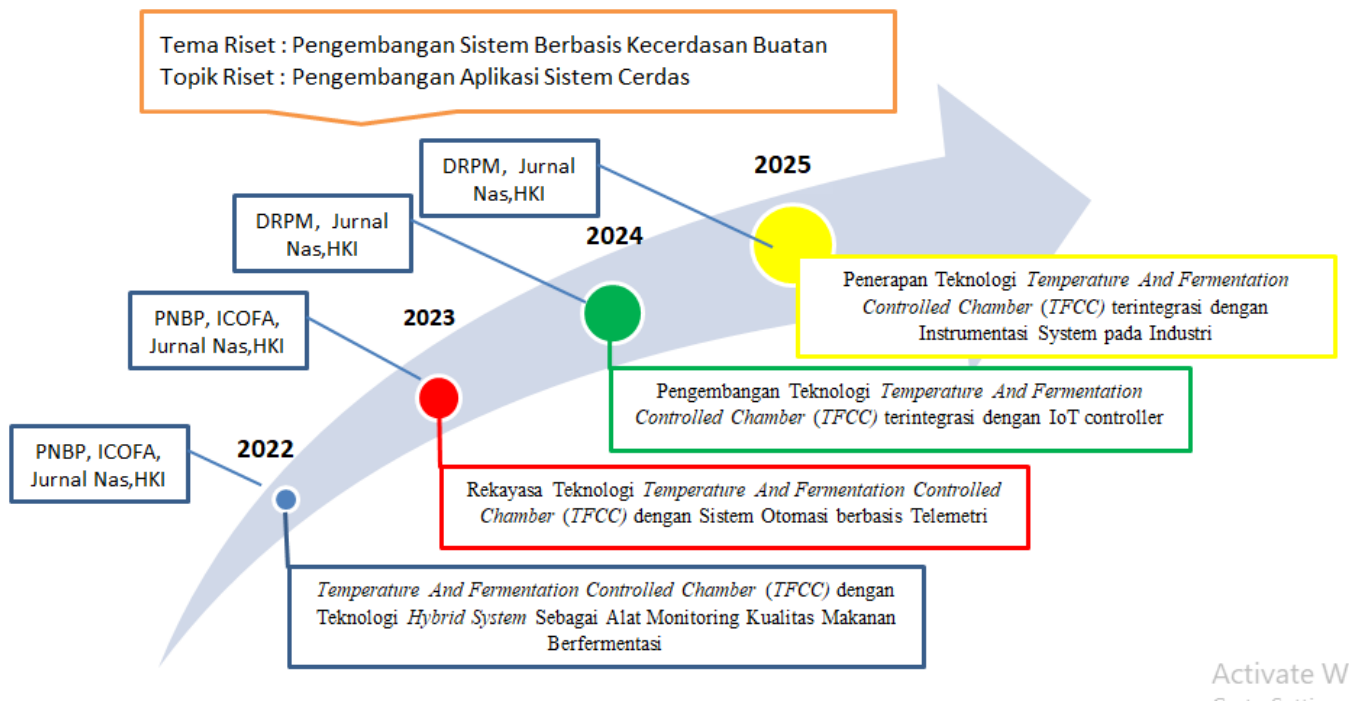
Board STM 32 menggunakan dua isolator kristal, satu adalah kristal 8 MHz dan kristal 32 KHz, yang dapat digunakan untuk menggerakkan RTC internal (*Real Time Clock*). MCU dapat beroperasi dalam mode *deep sleep* sehingga ideal untuk aplikasi yang dioperasikan dengan sumber tegangan.



Gambar 2.8 STM 32 Board [15]

2.5 Roadmap Penelitian

Dibawah adalah gambar Roadmap Penelitian yang akan dilaksanakan :



Gambar 2.9.Roadmap Penelitian

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan khusus dalam pencapaian penelitian ini antara lain:

- 1) Menghasilkan rancang bangun berupa *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yang berfungsi sebagai alat produksi dan monitoring kualitas makanan berfermentasi.
- 2) Menghasilkan rancang bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan sistem kerja yang efektif dalam memproduksi makanan berfermentasi.
- 3) Meningkatkan kualitas makanan berfermentasi melalui monitoring dan kontrol yang terintegrasi pada sistem.
- 4) Dapat mendukung proses kerja dan produksi makanan di TeFa SIP Polije dengan menggunakan *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*.
- 5) Dapat menjadi rintisan TeFa baru di lingkungan Politeknik Negeri Jember dalam bidang produksi alat produksi yang mendukung industri.

3.2 Manfaat Penelitian

Pada skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) dengan tema dasar membangun suatu rancang bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* sebagai alat untuk memproduksi sekaligus memonitoring kualitas makanan berfermentasi. Penelitian dengan tema tersebut menjadi awal dalam mengembangkan potensi penelitian-penelitian selanjutnya, baik pengembangan dari segi peningkatan efektifitas fungsi alat, rekayasa teknologi hingga uji dan pemodelan dalam meningkatkan produktivitas pangan berfermentasi. Hasil penelitian ini akan sangat membantu bagi keberlangsungan produksi makanan berfermentasi yang merupakan salah satu segmen usaha dan produksi di masyarakat. Dengan berfungsinya *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*, maka akan dihasilkan makanan berfermentasi dengan kualitas dan mutu yang lebih baik. Hal tersebut dilandasi dengan terintegrasinya sistem pada

alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yaitu sebagai alat produksi sekaligus memonitoring kualitas makanan berfermentasi, baik tingkat kematangan, derajat keasaman, derajat glukosa dan alkohol. Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dilengkapi dengan sistem secara otomatis yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasaman pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung proses produksi di TeFa SIP Politeknik Negeri Jember di bidang produksi makanan berfermentasi. Hal lain yang dapat ditindak lanjutkan dari hasil penelitian ini adalah akan munculnya rintisan TeFa baru bagi Politeknik Negeri Jember pada skema alat produksi yang dibutuhkan industri.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan membuat rancang bangun suatu alat yang dapat digunakan untuk memproduksi/memasak makanan berfermentasi sekaligus memonitoring kadar pH, alkohol, kadar glukosa dan suhu yang terintegrasi dalam satu set alat yang dinamakan *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*. Tujuan penelitian ini difokuskan pada perancangan produk berupa alat produksi dan monitoring pangan berfermentasi yang terintegrasi menjadi satu set alat yang tersistem dengan sistem instrumentasi, otomasi didukung energi dari bahan bakar gas sebagai support energi panas.

4.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1) Studi literatur

Tahap awal penelitian adalah studi literatur dengan mencari beberapa literatur untuk dijadikan sebagai bahan rujukan dan pembanding untuk penelitian yang akan dilakukan.

2) Desain Rancang Bangun

Tahap selanjutnya adalah membuat rancangan rancang bangun sesuai dengan kebutuhan dan hasil studi literatur.

3) Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk proses pembuatan rancang bangun.

Alat dan bahan yang dibutuhkan terbagi menjadi 2 komponen, yaitu komponen bersifat *hardware* yaitu alat produksi/ masak serta alat dan bahan *software* yaitu komponen yang digunakan untuk memonitoring kualitas hasil produksi, yaitu layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut, sensor MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat

berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat

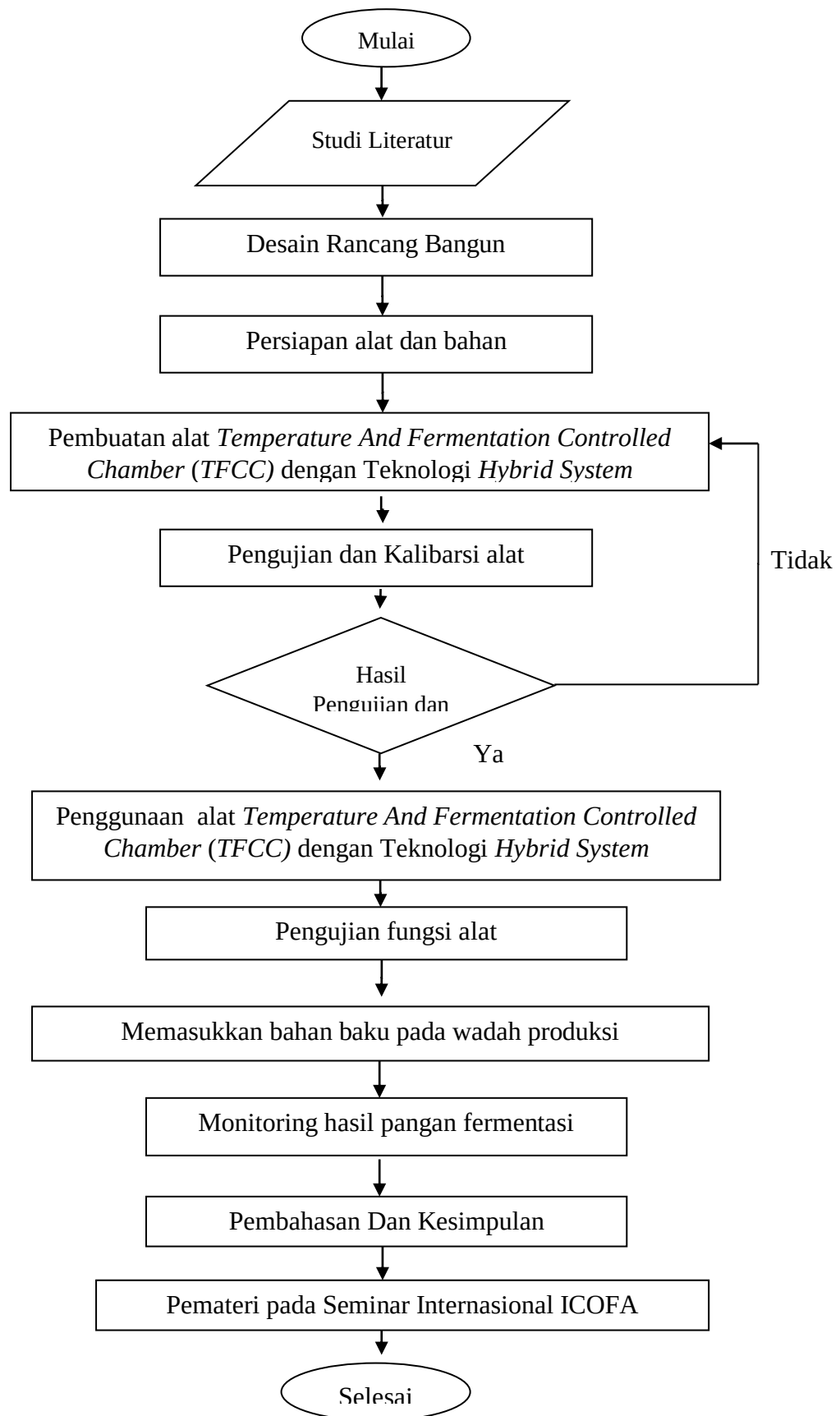
- 4) Membuat alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan mengintegrasikan alat produksi dan monitoring produk makanan fermentasi
- 5) Melakukan kalibrasi alat yang telah dibuat di laboratorium yang disesuaikan dengan standart uji kelayakan fungsi alat.
- 6) Melakukan uji coba dengan memasukkan bahan baku yang akan diproduksi menjadi pangan fermentasi dengan cara memasaknya pada tungku masak bagian bawah pada selang waktu tertentu. Setelah pada suhu masak melalui *thermocouple type K*, selanjutnya didinginkan dengan *air flow* sehingga suhunya menurun. Setelah itu diberikan ragi fermentasi dan ditutup. Pada tahap ini dilakukan monitoring melalui sensor MQ3, STM32, pH sensor untuk memonitoring sekaligus diperoleh kadar pH, alkohol, glukosa yang sesuai dengan standart kualitas pangan fermentasi. Hasil monitoring ditampilkan di LCD tft melalui notifikasi.
- 7) Melakukan analisa data dan pengambilan kesimpulan.

4.3. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi (ELINS) Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember.

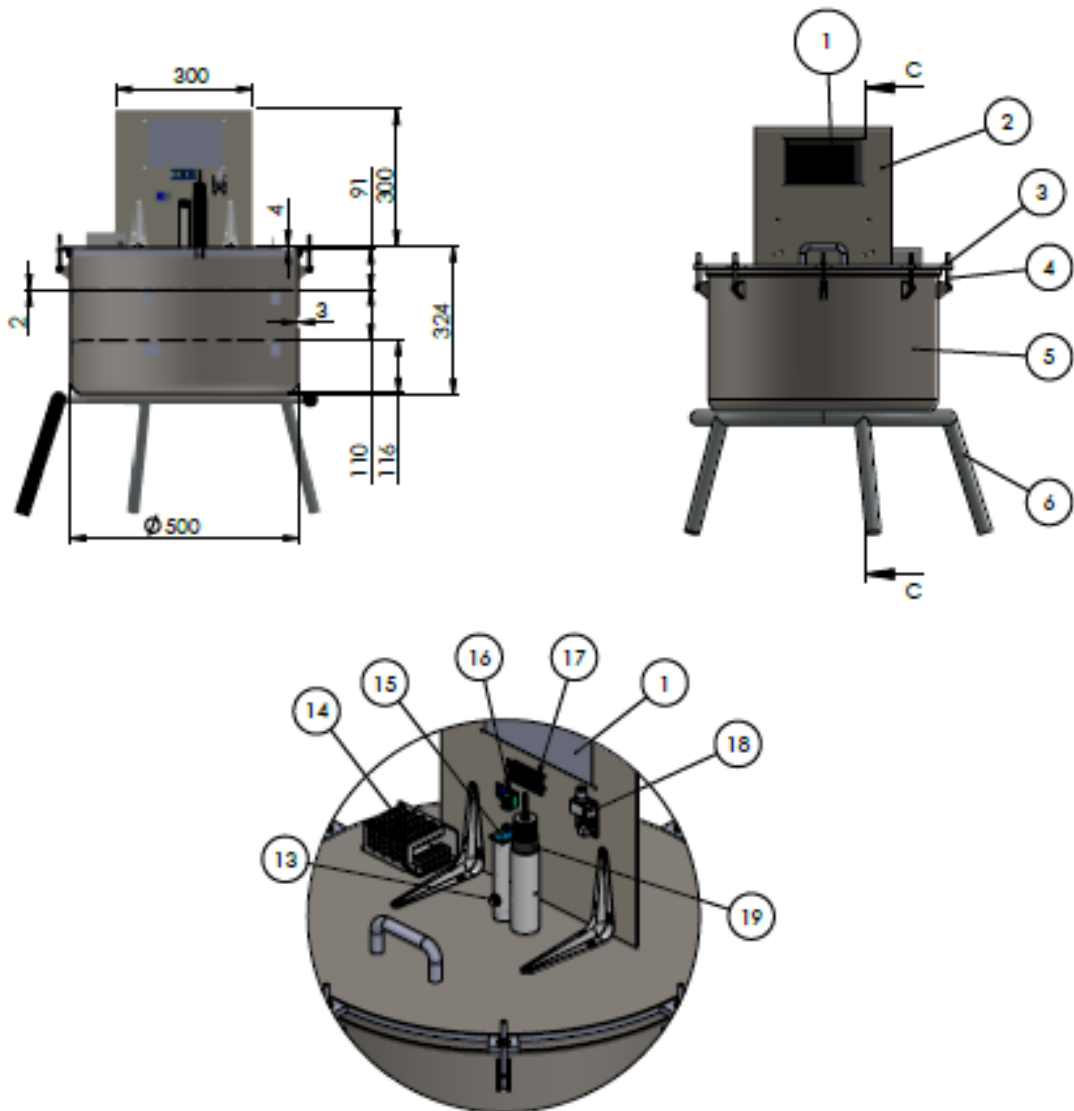
4.4. Diagram alir Penelitian

Pada persiapan penelitian ini dengan suatu langkah-langkah yang dibentuk dalam *flowchart* sebagai berikut :



Gambar 4.1 Diagram alir Penelitian

4.5. Desain Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

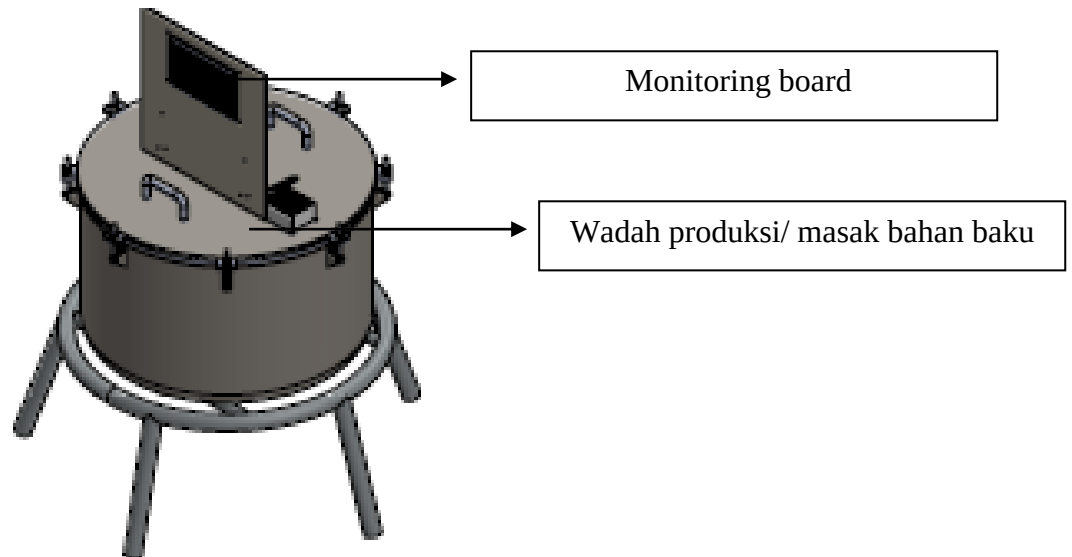


Gambar 4.2 Desain *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

Keterangan :

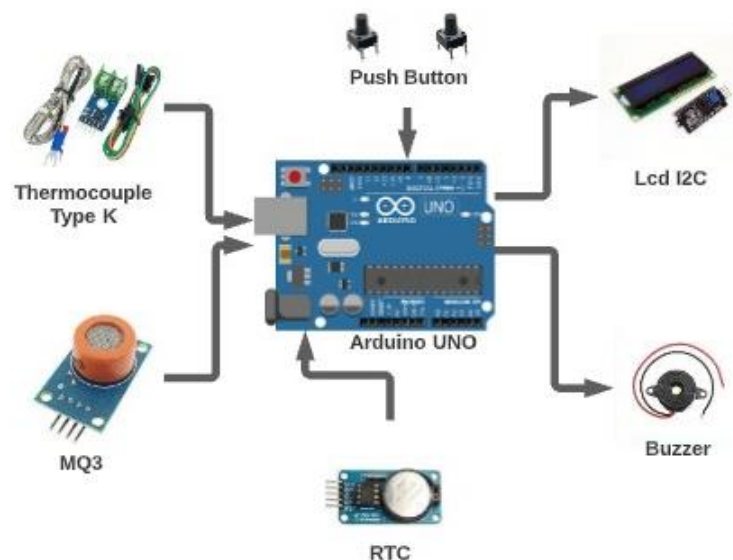
- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 = LCD tft 7 x 4" | 13 = probe Thermocouple type K |
| 2 = LCD board | 14 = SMPS 5 volt |
| 3 = mur 8 mm | 15 = Air Flow |
| 4 = baut 8 mm | 16 = MAX 6775 |
| 5 = panci <i>stainless steel</i> | 17 = STM 32 |
| 6 = kaki penyangga | 18 = module pH meter |
| | 19 = probe pH meter dan sensor MQ3 |

Pada alat ini yang digunakan untuk memproduksi/ memasak bahan baku berupa singkong sebagai bahan dasar pembuatan produk pangan berfermentasi. Setelah makanan berfermentasi telah dingin dengan bantuan *air flow* kemudian diberikan ragi pada takaran tertentu. Kemudian disimpan kembali pada media produksi dan diaktifkan komponen monitoring kadar pH, alkohol dan glukosa yang telah didesain terintegrasi.



Gambar 4.3 *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) dengan Teknologi Hybrid System Part Operational*

Adapun sistem kerja instrumentasi alat disusun dengan rangkaian sensor sebagai berikut:



Gambar 3.4 sistem kerja instrumentasi pada *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi Hybrid System

4.6. Tabel Pengujian Produk Pangan berfermentasi

Pada pengujian ini yaitu mempunyai tabel pengujian kualitas produk pangan berfermentasi sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel Pengujian.

No	Waktu	Suhu	pH	Alkohol	Kadar Glukosa

4.7.Susunan organisasi dan pemberian tugas

No.	Nama / NIDN/NIDK	Insatansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (Jam/Minggu)	Uraian Tugas
1	Ahmad Rofi'I, S.Pd, M.Pd / 0019088304	Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri Jember	Modelling dan Analysis	10 jam/minggu	Desain, Pengujian dan Laporan
2	Fendik Eko Purnomo, S.Pd, M.T./ 8899010016	Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri Jember	Instrumentasi dan Otomasi	10 jam/minggu	Pengujian dan Laporan Akhir
3	Faisal Lutfi Afriansyah, S.Kom., M.T./ 0029049102	Manajemen Informatika Politeknik Negeri Jember	Teknik Elektro-Jaringan Cerdas Multimedia	10 jam/minggu	Pengujian dan Laporan Akhir
4	Yeni Cahyani/ H43201266	Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri	Mahasiswa	10 jam/minggu	Operasional

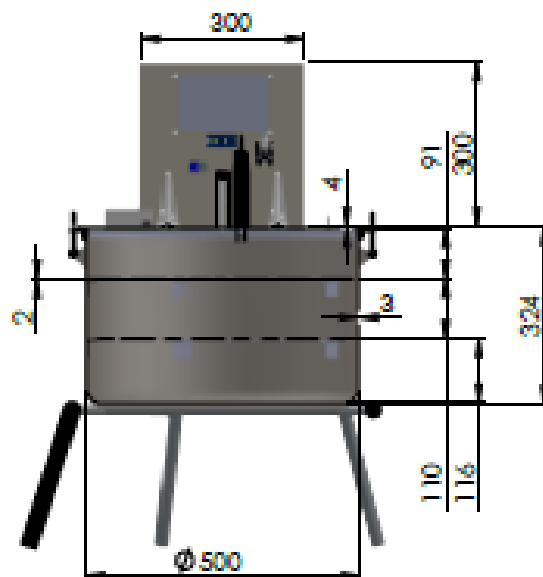
		Jember			
5	Muhammad Nurcholish/ H43201360	Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Negeri Jember	Mahasiswa	10 jam/minggu	Operasional

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Hasil Penelitian

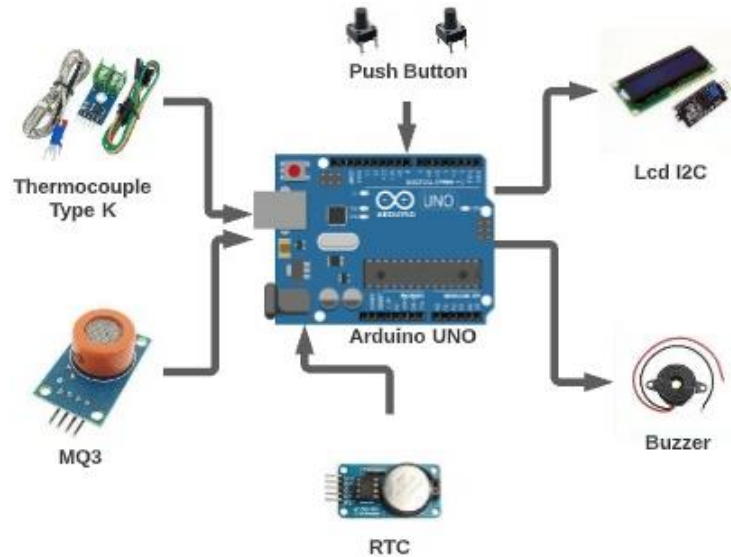
5.1.1 Desain Rancang Bangun Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*

Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yaitu sebagai alat produksi sekaligus memonitoring kualitas makanan berfermentasi, baik tingkat kematangan, derajat keasaman, derajat glukosa dan alkohol. Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dilengkapi dengan sistem secara otomatis yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasaman pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat. Desain alat tersebut digambar seperti pada gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1 Desain Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

Sedangkan desain rangkaian elektronika yang mendukung proses kerja alat tersebut seperti yang disajikan pada gambar 5.2 berikut:



Gambar 5.2 Desain rangkain komponen elektronika Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

5.1.2 Pembuatan Membuat alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan mengintegrasikan alat produksi dan monitoring produk makanan fermentasi

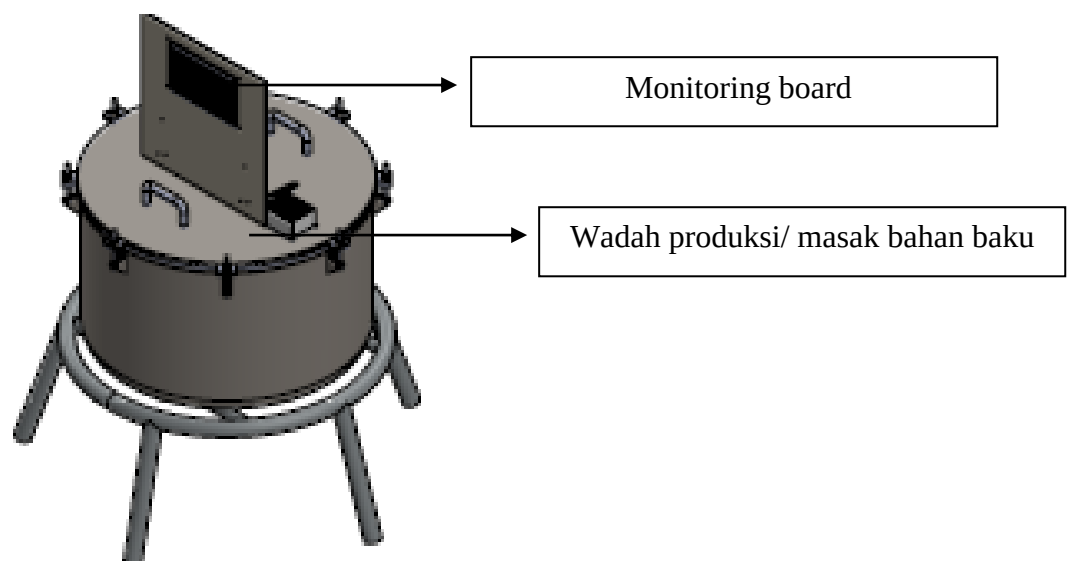
Setelah dilakukan desain alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan mengintegrasikan alat produksi dan monitoring produk makanan fermentasi, maka tahap selanjutnya adalah dilakukan pembuatan alat.

Pembuatan alat dilakukan di bengkel logam yang memiliki spesifikasi dan keahlian dalam bidang pembuatan alat produksi.

Alat dan bahan yang dibutuhkan pada pembuatan alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* antara lain:

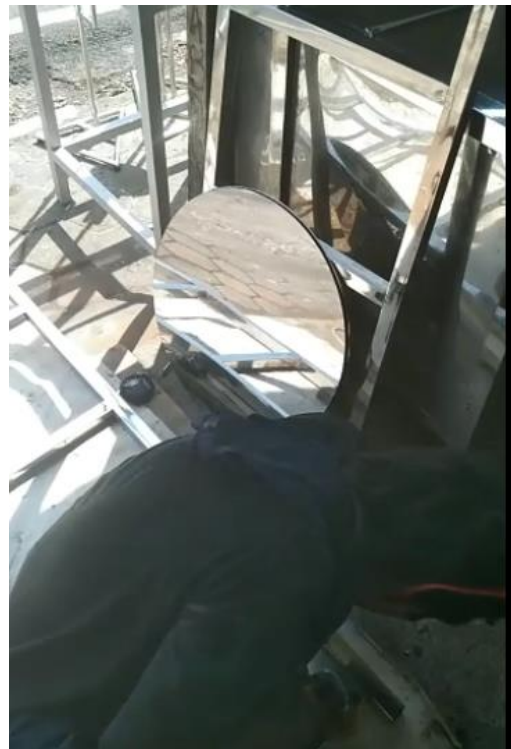
- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. LCD tft 7 x 4" | 7. <i>probe Thermocouple type K</i> |
| 2. LCD board | 8. SMPS 5 volt |
| 3. mur 8 mm | 9. <i>Air Flow</i> |
| 4. baut 8 mm | 10. MAX 6775 |
| 5. panci <i>stainless steel</i> | 11. STM 32 |
| 6. kaki penyangga | 12. <i>module pH meter</i> |
| | 13. <i>probe pH meter</i> dan sensor MQ3 |

Pada alat ini yang digunakan untuk memproduksi/ memasak bahan baku berupa singkong sebagai bahan dasar pembuatan produk pangan berfermentasi. Setelah makanan berfermentasi telah dingin dengan bantuan *air flow* kemudian diberikan ragi pada takaran tertentu. Kemudian disimpan kembali pada media produksi dan diaktifkan komponen monitoring kadar pH, alkohol dan glukosa yang telah didesain terintegrasi.



Gambar 5.3 Penempatan komponen dan bahan

Kegiatan pembuatan alat diawali dengan pemotongan plat stainless steel dengan ukuran yang disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk lebih presisi dalam pemotongan plat, maka dilakukan analisa secara grafis dan terukur oleh peneliti bersama tim teknis dalam pembuatan alat.



Gambar 5.4 Proses pemotongan dan pengukuran plat

Setelah dilakukan pemotongan dan pengukuran plat, maka selanjutnya dilakukan perancangan dan pengintegrasikan beberapa komponen pada alat dan bahan yang telah disediakan. Alat dan bahan tersebut antara lain kaki besi, mur dan baut yang diintegrasikan menjadi satu alat yang telah terintegratif.



Gambar 5.5 Proses perangkaian komponen yang terintegratif

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengelasan dan pengujian kebocoran alat dengan menganalisa komponen dan alat yang sudah terintegrasi.



Gambar 5.6 Proses pengujian dan pengelasan

5.1.3 Pengujian alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

Setelah dilakukan pengelasan dan pengecekan pada setiap sudut dan komponen yang telah dirakit secara integrasi, maka dilakukan pengujian dan kalibrasi pada alat untuk memastikan bahwa alat telah berfungsi dengan optimal.

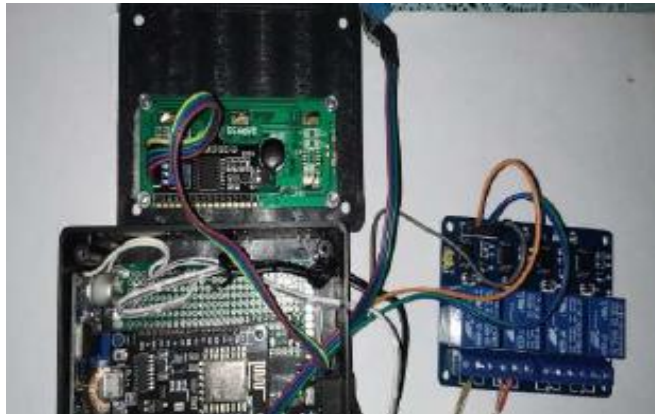


Gambar 5.7 Hasil uji fungsi alat



Gambar 5.8 Hasil uji pengukuran suhu

Sementara hasil pengujian pada komponen sistem monitoring sesuai dengan rangkaian telah direncanakan seperti pada gambar berikut:



Gambar 5.9 Hasil uji komponen rangkaian monitoring

5.1.4 Menggunakan alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

Tahapan yang dilakukan untuk menggunakan alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* adalah dengan me

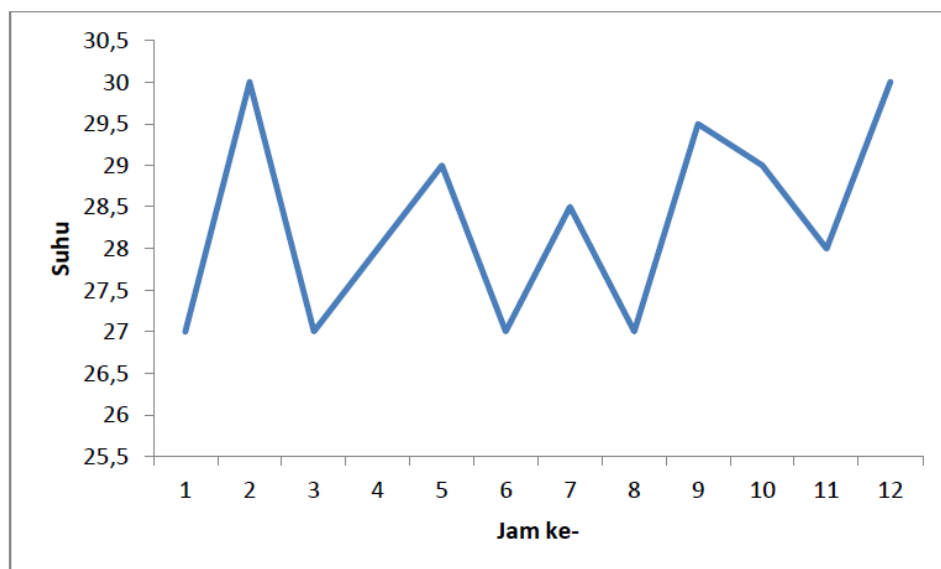
Pengukuran Fermentasi Alkohol dilakukan setelah proses kalibrasi alat dan dilakukan dengan bahan berupa singkong yang diproses untuk menjadi tape dengan ragi yang telah ditentukan. Proses produksi tape singkong melalui *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yang telah dilakukan proses kalibrasi sehingga bisa digunakan.



Gambar 5.10. Proses produksi dan pengukuran fermentasi alkohol pada *TFCC*

Proses produksi dilakukan dengan cara memproses pemasakan singkong di dalam tabung yang dipanaskan melalui proses pemanasan dengan sistem konduksifitas. Setelah pada suhu tertentu singkong yang telah masak yang dimonitoring melalui sensor suhu, maka selanjutnya singkong yang telah masak diberikan ragi.

Proses fermentasi singkong umumnya membutuhkan waktu selama 3 hari. Hasil penelitian yang dilaksanakan menunjukkan dengan suhu terkontrol antara 27 – 30⁰ C.



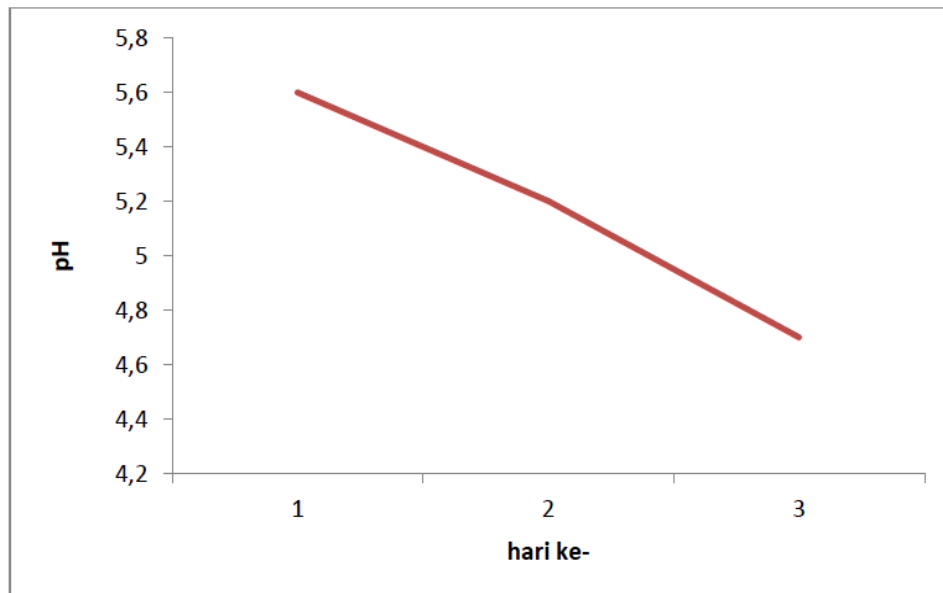
Gambar 5.11. Grafik suhu harian pada suhu 27 – 30⁰ C

Berdasarkan grafik tersebut dapat ditemukan bahwa suhu terendah dicapai pada jam ke 1 dengan suhu 27⁰ C dan suhu tertinggi diperoleh pada suhu 30⁰ C.



Gambar 5.12. Kondisi Tape dengan suhu 27 – 30⁰ C

Sementara kadar pH untuk 3 hari proses fermentasi dapat disajikan pada gambar 9 berikut.



Gambar 5.13. Grafik kadar pH

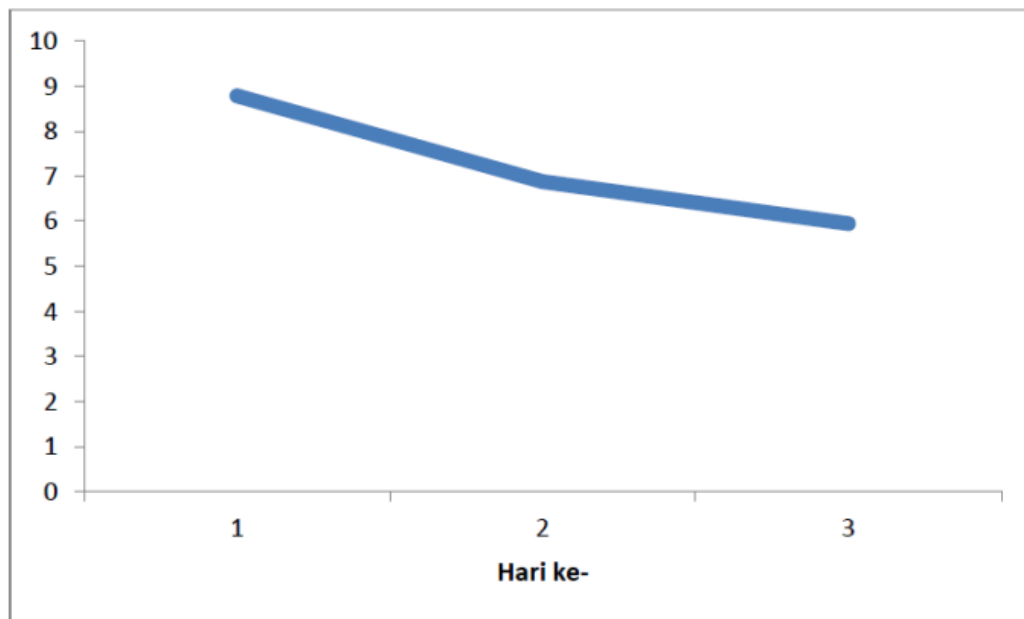
Pada gambar 5.12 tersebut dapat bahwa kadar pH pada hari ke-1 mencapai 5,6 dan terendah mencapai kadar pH sebesar 4,7. Hal tersebut berarti kadar pH tape singkong semakin berkurang dengan semakin lamanya proses fermentasi.

Sementara untuk prosentase kadar alkohol pada proses fermentasi yang dilakukan selama 3 hari.

Tabel 5.1. Prosentase rata-rata kadar alkohol

	Prosentase rata-rata kadar alkohol (%)			Total	Rata-rata
	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3		
	8,78	6,88	5,95	21,61	7,20

Melalui grafik prosentase rata-rata kadar alkohol pada proses fermentasi tape singkong melalui *TFCC* dapat disajikan pada analisa grafik sebagai berikut.



Gambar 5.14. Grafik prosentase rata-rata alkohol

Berdasarkan tabel dan grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata prosentase kadar alkohol tertinggi berada pada pengamatan hari pertama dengan 8,78% dan terendah pada pengamatan hari ketiga dengan 5,95%.

Kandungan pati pada tape singkong menghasilkan alkohol yang semakin sedikit seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Hal tersebut dikarenakan pada tape singkong mengandung pati yang sedikit yang dihasilkan melalui proses fermentasi.

Untuk mengkonstruksi analisa hasil pengamatan, maka dilakukan beberapa tahapan:

1. Menentukan variabel yang bekerja pada sistem melalui regresi berganda

Secara umum regresi ganda dituliskan dalam matematis sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

Untuk 2 predictor :

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

$$\text{Untuk 3 predictor : } \hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

$$\text{Untuk n predictor : } \hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan

Y = variable tak bebas

X_1 = variabel bebas ke-1

X_2 = variabel bebas ke-2

X_3 = Variabel bebas ke-3

X_n = Variabel bebas ke-n

a = konstanta

b_1 = kemiringan ke 1

b_2 = kemiringan ke 2

b_3 = kemiringan ke 3

jika terdapat 2 prediktor maka persamaan garis regresi ganda dibuat dengan nilai a, b_1 dan b_2 melalui persamaan:

$$\sum Y = an + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2$$

$$\sum YX_1 = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1X_2$$

$$\sum YX_2 = a \sum X_2 + b_1 \sum X_1X_2 + b_2 \sum X_2^2$$

Berdasarkan pada data yang disajikan pada tabel 1 yang dianalisa dengan sistem regresi berganda diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5.2. Analisa Regresi Berganda

					<i>Significance</i>
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Regression	1	4,00445	4,00445	25,53587	0,124374
Residual	1	0,156817	0,156817		
Total	2	4,161267			

		<i>Standard</i>			<i>Lower</i>	<i>Upper</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	95%	95%	95,0%	95,0%
Intercept	10,03333	0,604901	16,58673	0,038335	2,347334	17,71933	2,347334	17,71933
X								
Variable								
1	-1,415	0,280015	-5,0533	0,124374	-4,97293	2,142926	-4,97293	2,142926

Berdasarkan tabel analisa tersebut dapat diberikan penegasan persamaan linear dari data proses fermentasi tape singkong bahwa persamaan kadar alkohol adalah $Y = 10,03 - 1,415 X$

5.2 Luaran yang Dicapai

Setelah dilakukan kegiatan penelitian ini telah memperoleh luaran sebagai berikut:

- 1) Didapatkan suatu alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*, alat produksi dan monitoring kualitas makanan fermentasi



Gambar 5.15 alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

- 2) Telah mendaftar sebagai pemateri pada seminar Internasional ICOFA (*.International Conference on Food and Agriculture*) tahun 2022

9/5/22, 4:50 AM 5th ICOFA Submission 102

5th ICOFA (author) [Hello / Log out](#)

[New Submission](#) [Submission 102](#) [5th ICOFA](#) [Conference](#) [News](#) [EasyChair](#)

5th ICOFA Submission 102 [Update information](#) [Update authors](#) [Add files](#)

The submission has been saved!

Submission 102

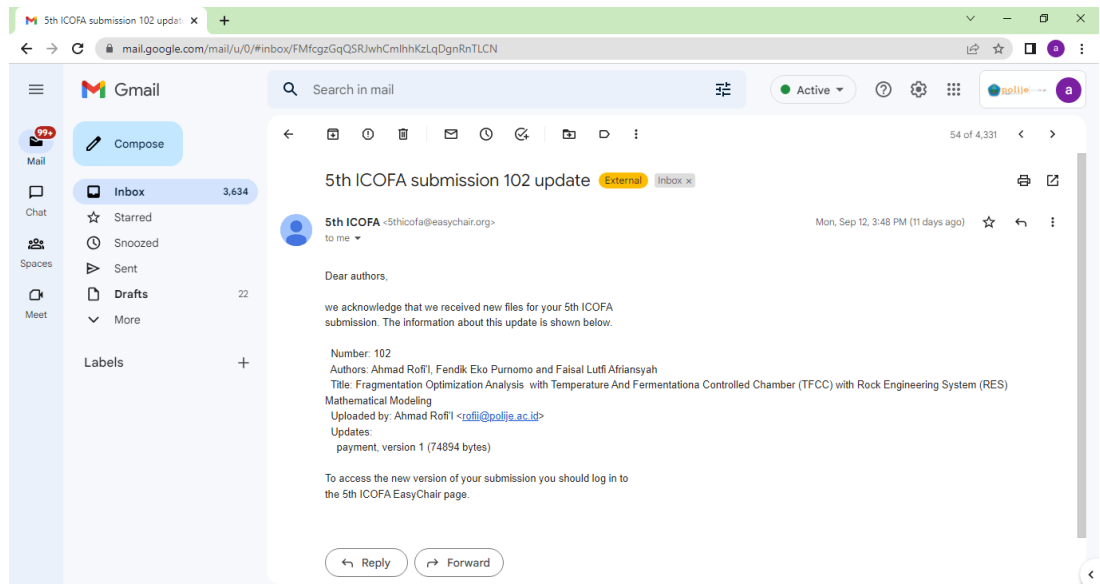
Title	Fragmentation Optimization Analysis with Temperature And Fermentations Controlled Chamber (TFCC) with Rock Engineering System (RES) Mathematical Modeling
Author keywords	Fermentation Mathematical ethanol
Topics	Food Science and Technology
Abstract	This study aims to provide an overview of the optimization analysis fragmentation process with a Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) which is presented through mathematical modeling. TFCC is a tool with an automated system that is accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated in the tool. Sensors used include MQ-3 as a sensor for detecting alcohol levels, type K thermocouple to detect temperature levels, pH meter to measure acidity levels of fermented food and equipped with a LCD to display notifications of results of measurements of alcohol content, pH, temperature and sugar content on fermented food. The mathematical modeling applied is the Rock Engineering System (RES) Model. The analysis process is calculated based on the control variables that have been obtained from TFCC after going through the preparation and data collection process. These variables include changes in sugar content, pH and ethanol. based on the results of data analysis with mathematical modeling, it was found that the optimization of glucose, pH and temperature was achieved by the equation $Y(t)=Y_0+B(\ln \left[\left[\left(S_1(t)-S_1 \right) \right] \right] \wedge (S_1-1/S_1))$.
Submitted	Sep 01, 21:50 GMT
Last update	Sep 01, 21:50 GMT

Authors							
first name	last name	email	country	affiliation	Web page	corresponding?	presenter
Ahmad	Rofiqi	rofi@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	✓
Fendik	Eko Purnomo	fendik_eko@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	
Faisal	Lutfi Ariansyah	faisal.lutfi@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	

Copyright © 2002 – 2022 EasyChair

Gambar 5.16 Lembar submitted pemateri pada seminar Internasional ICOFA (*.International Conference on Food and Agriculture*) tahun 2022

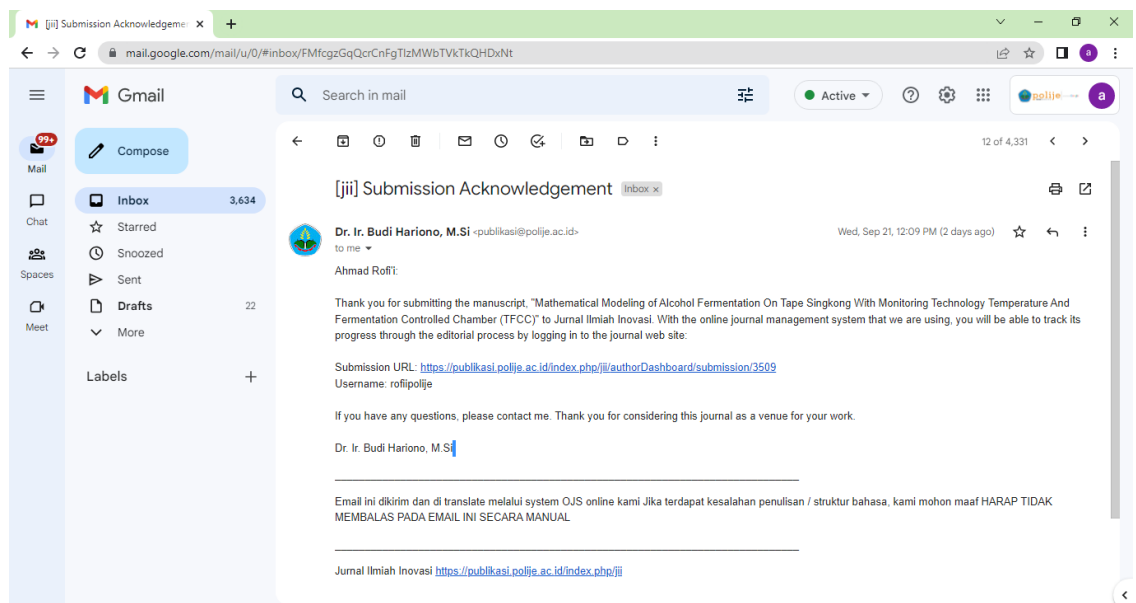
- 3) Telah menyusun artikel prosiding pada Jurnal Prosiding seminar Internasional ICOFA (*.International Conference on Food and Agriculture*) tahun 2022



Gambar 5.17 Lembar submitted pemateri pada seminar Internasional ICOFA (*.International Conference on Food and Agriculture*) tahun 2022

- 4) Telah submit Artikel yang diterbitkan jurnal nasional terakreditasi Sinta 4 Inovasi dengan status submitted.

Judul artikel : Mathematical Modeling of Alcohol Fermentation On Tape Singkong With Monitoring Technology Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)



Gambar 5.18 Lembar submitted artikel pada jurnal Inovasi

5) Hak Kekayaan Intelektual berupa Hak Cipta dengan status *granted*



Gambar 5.19 Sertifikat Hak kekayaan intelektual Hak Cipta

6) Telah mengikuti ICOFA 2022



Gambar 5.20 Keikutsertaan dalam ICOFA 2022

BAB 6. RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

Setelah dilakukan kegiatan pada proses penelitian, mulai dari pra penelitian hingga pengamatan dan evaluasi hasil penelitian, maka dilakukan rencana tahapan sebagai berikut:

1. Menganalisa hasil pengamatan pada alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan mengintegrasikan alat produksi dan monitoring produk makanan fermentasi dalam bentuk pemodelan matematika yang dapat mendukung proses pengembangan penelitian secara analitis dan parametris.
2. Mengevaluasi sistem kerja alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* agar dapat beroperasi secara optimal dengan memperhatikan faktor-faktor yang menghambat kerja alat.
3. Melakukan observasi lanjutan untuk membandingkan beberapa objek makanan fermentasi untuk dilakukan perlakuan yang sama sebagai bahan dan referensi pembandingan.
4. Merancang draf pengajuan kekayaan intelektual tentang komponen elektronika yang mendukung sistem kerja alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*
5. Mendesain karya tulis hasil penelitian dalam bentuk artikel yang akan dipublishkan pada jurnal shinta 2 atau 3

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

1. Proses produksi dilakukan dengan cara memproses pemasakan singkong di dalam tabung yang dipanaskan melalui proses pemanasan dengan sistem konduksifitas. Setelah pada suhu tertentu singkong yang telah masak yang dimonitoring melalui sensor suhu, maka selanjutnya singkong yang telah masak diberikan ragi.
2. Proses fermentasi singkong umumnya membutuhkan waktu selama 3 hari. Hasil penelitian yang dilaksanakan menunjukkan dengan suhu terkontrol antara 27 – 30⁰ C dengan suhu terendah dicapai pada jam ke 1 dengan suhu 27⁰ C dan suhu tertinggi diperoleh pada suhu 30⁰ C.
3. Kadar pH pada hari ke-1 mencapai 5,6 dan terendah mencapai kadar pH sebesar 4,7. Hal tersebut berarti kadar pH tape singkong semakin berkurang dengan semakin lamanya proses fermentasi. Sementara untuk prosentase kadar alkohol pada proses fermentasi yang dilakukan selama 3 hari.

7.2 Saran

Saran yang dapat direkomendasikan setelah kegiatan penelitian ini antara lain:

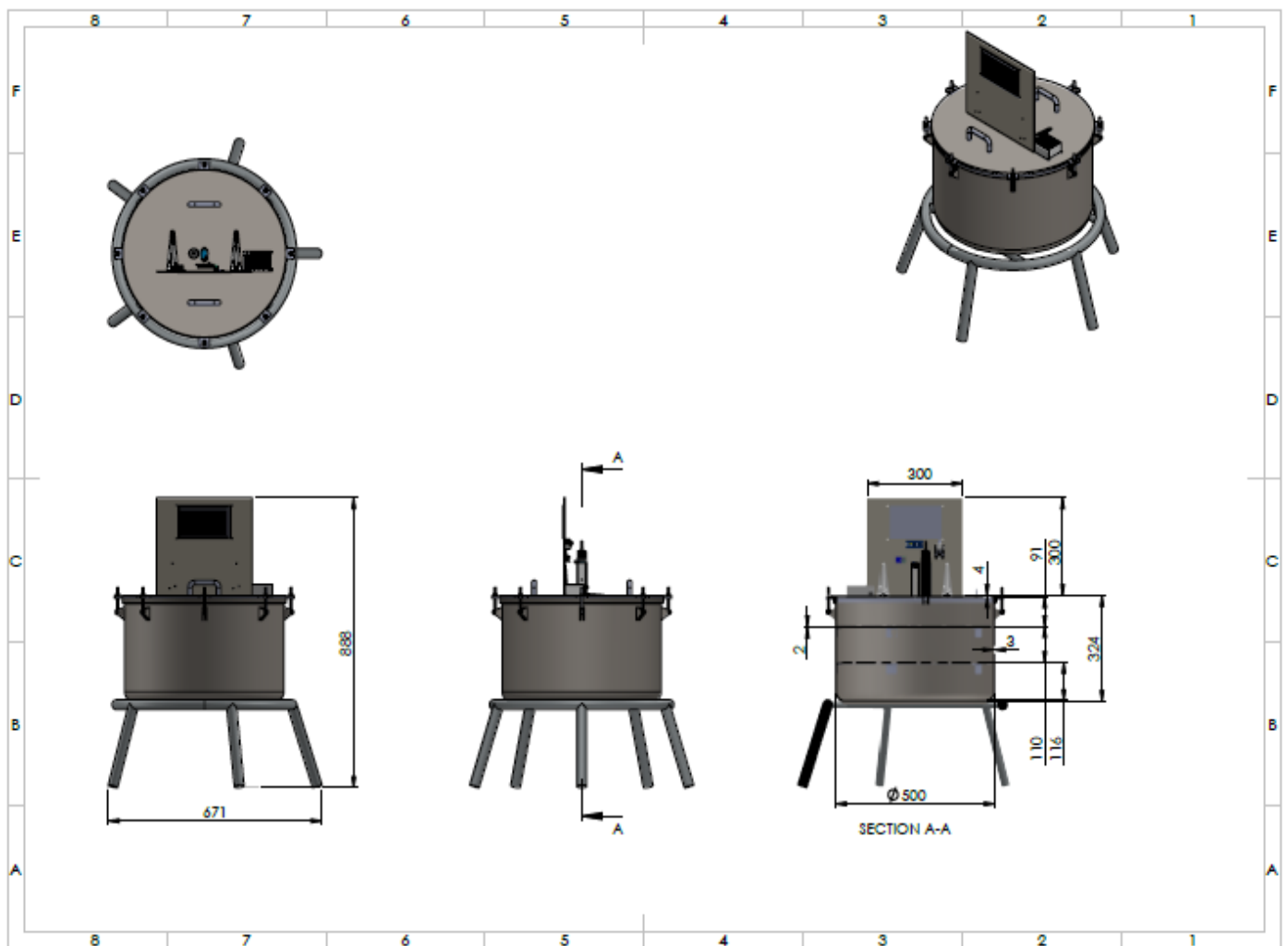
1. Perlu dikembangkan metode observasi pada hasil penelitian sehingga terdapat keterbaruan dalam metode dan hasil
2. Perlu dikembangkan pengembangan inovasi alat

Daftar Pustaka

- [1] Warawardhana, D dan Maharani, Y. 2014. Indonesia Culinary Center. Jurnal Tingkat Sarjana Bidang Senirupa dan Desain. vol 3(1): 1-6.
- [2] Faridah, HD and Sari, SK. 2019. Utilization of microorganism on the development of halal food based on biotechnology. Journal of Halal Product and Research. vol 2(1): 33-43.
- [3] Sari, P.M dan Puspaningtyas, D. 2019. Skor aktivitas prebiotik growol (makanan fermentasi tradisional dari singkong) terhadap *Lactobacillus* sp. dan *Escherichia coli*. Ilmu Gizi Indonesia. vol 2(2): 101-106.
- [4] Yahfoufi, N., Mallet, J. F., Graham, E., and Matar, C. 2018. Role of probiotics and prebiotics in immunomodulation. Current Opinion in Food Science. vol 20(April): 82–91
- [5] Cairns Donald , 2014. Intisari Kimia farmasi. Jakarta. Buku Kedokteran EGC.
- [6] Djunaidi K, Jatnika H, Ningrum F.R, Kabidoyo. 2019. Alat pendeteksi dan Monitoring kematangan Tape. Jurnal PETIR, Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika. Vol 12 (2) 222-230.
- [7] Adyana A.P.M, Swamardika IB Alit , Rahardjo pratolo. 2015. Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kadar Alkohol pada minuman beralkohol menggunakan sensor MQ-3 berbasis Tmega328. E-Jurnal SPEKTRU M. vol 2 (3)
- [8] Waites, M.J., Morgan, N.L., Rockey, J.S., and Gary Higton (2001). Industrial Microbiology: An Introduction. USA: Blackwell science.
- [9] Ratledge C, Kristiansen B. 2001. Basic Biotechnology. Cambridge: Cambridge University Pr. Hal. 5-17.
- [10] Williams JA. 2002. Keys to bioreactor selection. *Chemical Eng Progress* 98(3):34-41.
- [11] Bambang Trisakti, Jhon Almer S. Pasaribu, Tri Afrianty, T. Husaini, Irvan. 2013. Ptype Berancangan Prototipe Bioreaktor untuk Pengolahan Lanjut Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) Secara Aerobik. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 22(4)
- [12] Zainal Berlian. Z , Aini, F , Ulandari, R. 2016. Uji Kadar Alkohol Pada Tapai Ketan Putih dan Singkong Melalui Fermentasi dengan Dosis Ragi yang Berbeda. Jurnal Biota, Vol 2 (1). Hal 106-111.
- [13] Latupeirissa, D, Verna A. Suoth, Kolibu, H. 2015. Rancang Bangun Alat Ukur Suhu dan Kadar Alkohol Menggunakan Sensor LM35 dan Sensor MQ-3. Jurnal Ilmiah Sains Vol. 15(2). Hal 81-87.

- [14] Lely Okmawaty Anwar, Linawati Hardjito, Desniar. 2014. Fermentasi Tambelo dan Karakteristik Produknya. JPHPI 2014, Vol 17 (3).
- [15] <https://www.nn-digital.com/blog/2019/06/07/belajar-pemrograman-stm32-menggunakan-arduino-ide/>[diakses pada tanggal 2 April 2021]

Lampiran 1 : Desain rancang bangun



Lampiran 2 . alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*
dengan Teknologi *Hybrid System*



Lampiran 3. Submitted author ICOFA 2022

9/2/22, 4:50 AM
5th ICOFA Submission 102


5th ICOFA (author)
[Help](#) / [Log out](#)

[New Submission](#)
[Submission 102](#)
[5th ICOFA](#)
[Conference](#)
[News](#)
[EasyChair](#)

5th ICOFA Submission 102

Update information
Update authors
Add files

The submission has been saved!

Submission 102

Title	Fragmentation Optimization Analysis with Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) with Rock Engineering System (RES) Mathematical Modeling
Author keywords	Fermentation Mathematical ethanol
Topics	Food Science and Technology
Abstract	This study aims to provide an overview of the optimization analysis fragmentation process with a Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) which is presented through mathematical modeling. TFCC is a tool with an automated system that is accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated in the tool. Sensors used include MQ-3 as a sensor for detecting alcohol levels, type K thermocouple to detect temperature levels, pH meter to measure acidity levels of fermented food and equipped with a LCD to display notifications of results of measurements of alcohol content, pH, temperature and sugar content on fermented food. The mathematical modeling applied is the Rock Engineering System (RES) Model. The analysis process is calculated based on the control variables that have been obtained from TFCC after going through the preparation and data collection process. These variables include changes in sugar content, pH and ethanol. based on the results of data analysis with mathematical modeling, it was found that the optimization of glucose, pH and temperature was achieved by the equation $Y(t)=Y_0+B(\ln[[(S_0(t)-S_1)]^{(S_1-1)}])$.
Submitted	Sep 01, 21:50 GMT
Last update	Sep 01, 21:50 GMT

Authors

first name	last name	email	country	affiliation	Web page	corresponding?	presenter
Ahmad	Rofi'i	rofi'i@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	✓
Fendik	Eko Purnomo	fendik_eko@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	
Faisal	Lutfi Afriansyah	faisal.lutfi@polije.ac.id	Indonesia	Politeknik Negeri Jember		✓	

Copyright © 2002 – 2022 EasyChair

Lampiran 4 . Sertifikat Hak kekayaan intelektual Hak Cipta



The certificate is titled "SURAT PENCATATAN CIPTAAN" (Certificate of Copyright Registration). It is issued by the "KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA" (Ministry of Law and Human Rights) of the "REPUBLIK INDONESIA". The background features a large, faint watermark of the Garuda Pancasila, the national emblem of Indonesia.

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202252539, 11 Agustus 2022

Pencipta

Nama : Ahmad Rofi'i, Faisal Lutfi Afriansyah dkk

Alamat : Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip 164, Jember, JAWA TIMUR, 68121

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : Sentra KI Politeknik Negeri Jember

Alamat : Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip 164, Jember, JAWA TIMUR, 68121

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : Alat Peraga

Judul Ciptaan : Technology Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) Dengan Teknologi Hybrid System

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 10 Agustus 2022, di Jember

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Pemodelan Matematika Fermentasi Alkohol Pada Tape Singkong Dengan *Monitoring Technology Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*

Mathematical Modeling of Alcohol Fermentation On Tape Singkong With Monitoring Technology Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)

Ahmad Rofi'i^{#1}, Fendik Eko Purnomo^{#2}, Faisal Lutfi Afriansyah^{*3}

[#]Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

^{*}Jurusan Manajemen Informatika, Politeknik Negeri Jember

Jl. Mastrip Kotak Pos 164 Jember

¹rofii@polije.ac.id

Abstract

Tujuan penelitian yang dihasilkan pada artikel ini adalah menentukan pemodelan matematika dan analisis matematis dalam proses fermentasi alkohol pada tape singkong yang diproses melalui alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*. *TFCC* dilengkapi dengan sistem secara otomatis yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan membuat rancang bangun suatu alat yang dapat digunakan untuk memproduksi/ memasak makanan berfermentasi sekaligus memonitoring kadar pH, alkohol, kadar glukosa dan suhu yang terintegrasi dalam satu set alat yang dinamakan *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*. Reaksi fermentasi alkohol tape singkong dengan Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dan direkayasa melalui persamaan linear dari data proses fermentasi tape singkong bahwa persamaan kadar alkohol adalah $Y = 10,03 - 1,415 X$ dengan pemodelan matematika $a + \frac{m(S(t)+K)}{p S(t)} (1 - \frac{c}{M} (S(t) - S(0))) = -\frac{d(S(t))}{dX(t)}$ dengan $(Q + dK) = \frac{c}{S(0)} S(t)^2 - S(t)$.

Keywords— *Fermentasi, Temperature, Controlled Chamber, TFCC*

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang kaya makanan yang terbuat dari berbagai pangan lokal, salah satunya pangan berfermentasi. Bahkan pada perkembangannya, makanan fermentasi telah menjadi produk lokal yang menjadi kebanggaan nasional. Produk-produk pangan fermentasi lokal tersebut memiliki ciri khas masing-masing tergantung pada hasil pangan lokal dan budaya yang

sangat erat dengan karakteristik masyarakat [1]. Pada proses fermentasi, mikroorganisme menghidrolisis senyawa karbohidrat menjadi asam-asam organik, gula reduksi, oligosakarida dan beberapa pati resisten yang berpotensi menjadi prebiotik [2], [3]. Sementara prebiotik dapat memberikan manfaat dalam memperbaiki keseimbangan dalam saluran pencernaan dan sistem imun [4].

Proses pengolahan makanan dengan cara fermentasi merupakan pengolahan makanan secara

tradisional yang sudah dikenal sejak lama dan merupakan metode pengawetan makanan tertua. Sementara pengolahan makanan berfermentasi yang mengabaikan ketentuan kesehatan yang berlaku, seperti kandungan alkohol yang berlebihan dan hasil fermentasi dengan probiotik yang tinggi akan mengakibatkan gangguan kesehatan [5]. Sebagaimana diatur pada rekomendasi badan kesehatan dunia, WHO bahwa kandungan konsumsi gula perhari adalah 10% dari total energi atau setara dengan 50 gram perorang perhari.

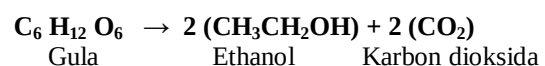
Dengan permasalahan klasik yang masih terjadi di masyarakat, maka diperlukan sentuhan teknologi sebagai salah satu solusi dalam meminimalkan dampak negatif dari pengolahan makanan berfermentasi. Di antara bentuk sentuhan teknologi tersebut telah tampak diberlakukan di masyarakat, seperti alat pendeteksi kematangan dan kontrol pada tape sebagai salah satu objek makanan berfermentasi [6]. Temuan tersebut hanya dapat mendeteksi dan mengontrol kematangan saja, tanpa mengetahui kandungan unsur probiotik, kandungan alkohol serta derajat keasaman yang ditimbulkan dari proses kematangan makanan tersebut. Temuan lain adalah alat pendeteksi kadar alkohol untuk jenis minuman beralkohol menggunakan sensor MQ-3 berbasis Atmega328 [7]. Penemuan tersebut hanya terpusat pada analisa kadar alkohol minuman, namun mengabaikan proses fermentasinya. Dari beberapa temuan yang masih terbatas tersebut, maka diperlukan inovasi baru yang lebih fleksibel dan dapat mengintegrasikan keperluan yang dibutuhkan sehingga menghasilkan produk pangan berfermentasi yang berkualitas.

Salah satu alat yang dapat menjamin pertumbuhan mikroba pada fermentasi serta produk dari mikroba tersebut adalah bioreaktor. Namun penggunaannya ada adalah pemerataan medium kultur dan belum adanya kontrol dan monitor secara terintegrasi yang dapat menunjang proses produksi pangan berfermentasi [8]. Terlebih lagi pada sistem pengolahan pangan fermentasi skala tradisional lebih mengabaikan kontrol dan monitoring hasil produksi, mulai dari tingkat derajat keasaman, kandungan alkohol dan kematangan. makanan berfermentasi yang terintegrasi melalui medium yang berfungsi sebagai tungku pemasak dan kontrol monitoring kualitas makanan, mulai dari derajat keasaman, kandungan glukosa hingga kandungan alkohol yang dikontrol oleh sistem module otomasi dan sensor melalui Rancang Bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*.

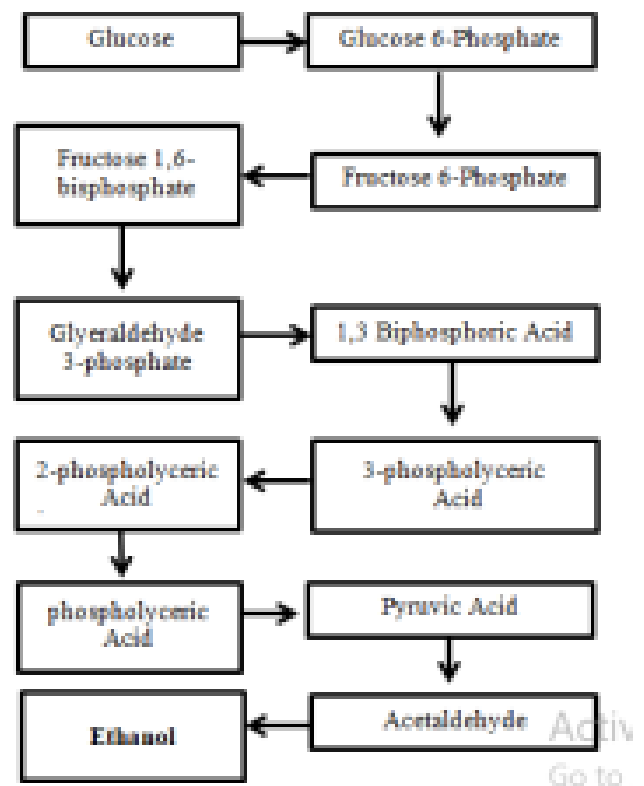
Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dilengkapi dengan sistem secara otomasi yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol,

thermocouple tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat.

Salah satu kandungan hasil dari fermentasi tapei singkong adalah alkohol. Sedangkan komponen aktif pada produksi alkohol adalah glukosa, fruktosa, *saccharomyces cerevisiae*, enzim Glikolitik, etanol dan gas karbon dioksida [9]. Proses fermentasi alkohol merupakan proses kimia yang dihasilkan dari reaksi penguraian gula menjadi etanol dan karbon dioksida.



Secara rinci rantai perubahan glukosa menjadi alkohol dalam proses fermentasi [9] dapat disajikan dalam alur sebagai berikut.



Gambar 1. Rantai perubahan glukosa menjadi alkohol dalam proses fermentasi

Salah satu studi tentang konsep pada operasi matematika yang secara kontekstual menggambarkan kondisi real adalah pemodelan matematika. Representasi konsep dan operasi

matematika dihasilkan dari perubahan persamaan pada variabel sebagai langkah untuk mendeskripsikan suatu sistem [10]. Model matematika diaplikasikan dalam banyak keilmuan dan bidang yang berbeda, baik bidang kedokteran, teknik, ilmu sosial dan politik, ekonomi juga problem-problem jaringan komputer.

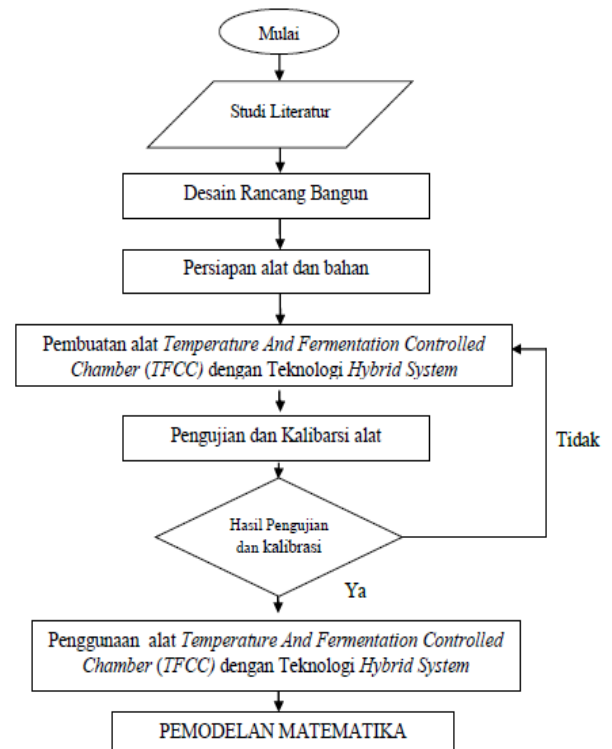
II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental dengan membuat rancang bangun suatu alat yang dapat digunakan untuk memproduksi/ memasak makanan berfermentasi sekaligus memonitoring kadar pH, alkohol, kadar glukosa dan suhu yang terintegrasi dalam satu set alat yang dinamakan *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*. Langkah berikutnya adalah mengumpulkan data tentang variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas tape dengan memperhatikan kadar pH, alkohol dan kadar glukosa. Dengan data dan variabel yang telah dihasilkan akan dilakukan analisa dengan membentuk pemodelan matematika.

Langkah dan tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

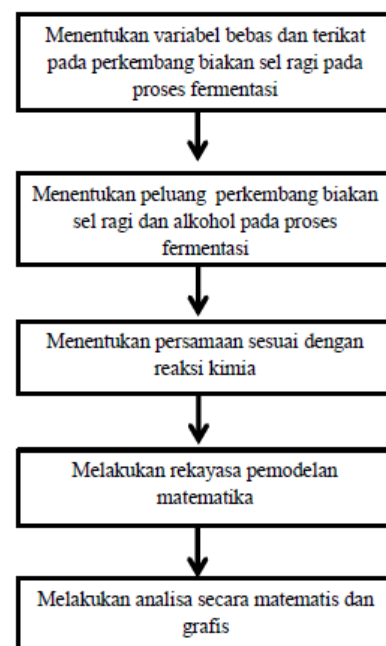
- 1) Studi literatur
Tahap awal penelitian adalah studi literatur dengan mencari beberapa literatur untuk dijadikan sebagai bahan rujukan dan pembanding untuk penelitian yang akan dilakukan.
- 2) Desain Rancang Bangun
Tahap selanjutnya adalah membuat rancangan rancang bangun sesuai dengan kebutuhan dan hasil studi literatur.
- 3) Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk proses pembuatan rancang bangun. Alat dan bahan yang dibutuhkan terbagi menjadi 2 komponen, yaitu komponen bersifat *hardware* yaitu alat produksi/ masak serta alat dan bahan *software* yaitu komponen yang digunakan untuk memonitoring kualitas hasil produksi, yaitu layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut, sensor MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat
- 4) Membuat alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dengan mengintegrasikan alat produksi dan monitoring produk makanan fermentasi

- 5) Melakukan analisa dengan pembentukan pemodelan matematika
Tahapan penelitian yang dilakukan disajikan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Adapun kontruksi pemodelan matematika dalam fermentasi alkohol dilakukan melalui beberapa tahapan yang disajikan melalui diagram alir sebagai berikut.



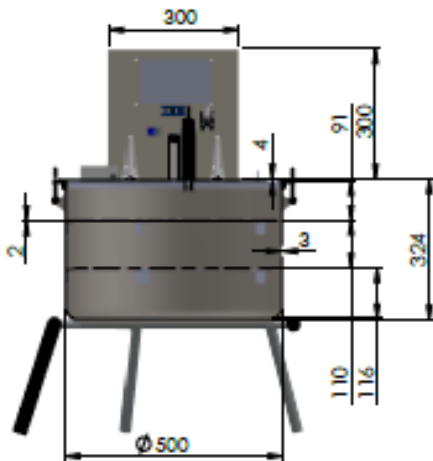
Gambar 3. Diagram konstruksi pemodelan matematika

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Rancang Bangun *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dilengkapi dengan sistem secara otomatis yang disertai dengan sensor yang mendeteksi kualitas makanan dan langsung dapat diamati melalui layar LCD yang terintegrasi pada alat tersebut. Sensor yang digunakan antara lain MQ-3 sebagai sensor pendeteksi kadar alkohol, *thermocouple* tipe K untuk mendeteksi kadar suhu, pH meter untuk mengukur kadar keasamaan pangan fermentasi dan dilengkapi dengan LCD tft untuk menampilkan notifikasi hasil pengukuran kadar alkohol, pH, suhu dan kadar gula pada makanan berfermentasi yang sudah diproses produksinya pada satu alat yang terintegrasi melalui tungku yang disekat berbahan *stainless steel* agar tahan panas, merata penyebaran panasnya dan tidak mudah karat.

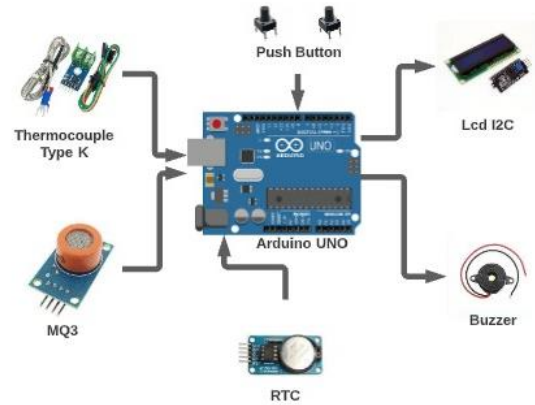
Desain *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* dapat disajikan pada gambar berikut.



Gambar 4. Desain Rancang Bangun *TFCC*

Pada alat ini yang digunakan untuk memproduksi/memasak bahan baku berupa singkong sebagai bahan dasar pembuatan produk pangan berfermentasi. Setelah makanan berfermentasi telah dingin dengan bantuan *air flow* kemudian diberikan ragi pada takaran tertentu. Kemudian disimpan kembali pada media produksi dan diaktifkan komponen monitoring kadar pH, alkohol dan glukosa yang telah didesain terintegrasi.

Sementara sistem kerja instrumentasi alat disusun dengan rangkaian sensor sebagai berikut.



Gambar 5. sistem kerja instrumentasi pada *TFCC*

B. Pengukuran Fermentasi Alkohol yang dihasilkan melalui *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System*

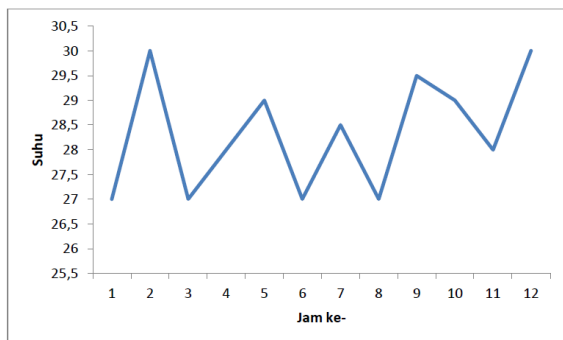
Pengukuran Fermentasi Alkohol dilakukan setelah proses kalibrasi alat dan dilakukan dengan bahan berupa singkong yang diproses untuk menjadi tape dengan ragi yang telah ditentukan. Proses produksi tape singkong melalui *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dengan Teknologi *Hybrid System* yang telah dilakukan proses kalibrasi sehingga bisa digunakan.



Gambar 6. Proses produksi dan pengukuran fermentasi alkohol pada *TFCC*

Proses produksi dilakukan dengan cara memproses pemasakan singkong di dalam tabung yang dipanaskan melalui proses pemanasan dengan sistem konduktivitas. Setelah pada suhu tertentu singkong yang telah masak yang dimonitoring melalui sensor suhu, maka selanjutnya singkong yang telah masak diberikan ragi.

Proses fermentasi singkong umumnya membutuhkan waktu selama 3 hari. Hasil penelitian yang dilaksanakan menunjukkan dengan suhu terkontrol antara 27 – 30⁰ C.



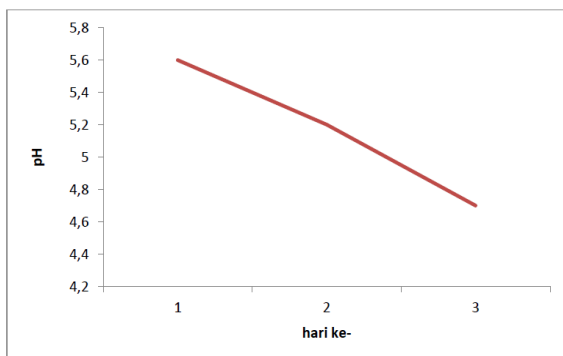
Gambar 7. Grafik suhu harian pada suhu 27 – 30⁰ C

Berdasarkan grafik tersebut dapat ditemukan bahwa suhu terendah dicapai pada jam ke 1 dengan suhu 27⁰ C dan suhu tertinggi diperoleh pada suhu 30⁰ C.



Gambar 8. Kondisi Tape dengan suhu 27 – 30⁰ C

Sementara kadar pH untuk 3 hari proses fermentasi dapat disajikan pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Grafik kadar pH

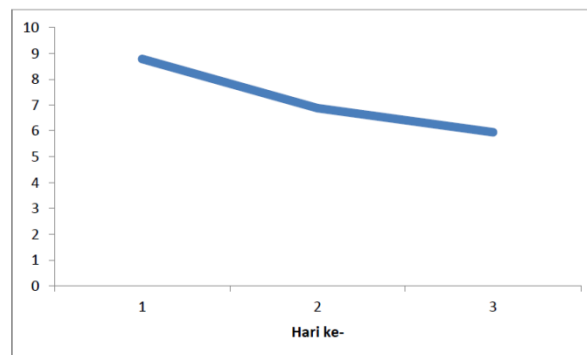
Pada gambar 9 tersebut dapat bahwa kadar pH pada hari ke-1 mencapai 5,6 dan terendah mencapai kadar pH sebesar 4,7. Hal tersebut berarti kadar pH tape singkong semakin berkurang dengan semakin lamanya proses fermentasi.

Sementara untuk prosentase kadar alkohol pada proses fermentasi yang dilakukan selama 3 hari.

Tabel 1. Prosentase rata-rata kadar alkohol

Hari ke-	Prosentase rata-rata kadar alkohol (%)			Total	Rata-rata
	1	2	3		
	8,78	6,88	5,95	21,61	7,20

Melalui grafik prosentase rata-rata kadar alkohol pada proses fermentasi tape singkong melalui *TFCC* dapat disajikan pada analisa grafik sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik prosentase rata-rata alkohol

Berdasarkan tabel dan grafik tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata prosentase kadar alkohol tertinggi berada pada pengamatan hari pertama dengan 8,78% dan terendah pada pengamatan hari ketiga dengan 5,95%.

Kandungan pati pada tape singkong menghasilkan alkohol yang semakin sedikit seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Hal tersebut dikarenakan pada tape singkong mengandung pati yang sedikit yang dihasilkan melalui proses fermentasi.

C. Konstruksi Pemodelan Matematika

1. Menentukan variabel yang bekerja pada sistem melalui regresi berganda

Secara umum regresi ganda dituliskan dalam matematis sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

Untuk 2 predictor :

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Untuk 3 predictor :

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Untuk n predictor :

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan

Y = variable tak bebas

X₁ = variabel bebas ke-1

X₂ = variabel bebas ke-2

X_3 = Variabel bebas ke-3

X_n = Variabel bebas ke-n

a = konstanta

b_1 = kemiringan ke 1

b_2 = kemiringan ke 2

b_3 = kemiringan ke 3

jika terdapat 2 prediktor maka persamaan garis regresi ganda dibuat dengan nilai a , b_1 dan b_2 melalui persamaan:

$$\sum Y = an + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2$$

$$\sum YX_1 = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2$$

$$\sum YX_2 = a \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2$$

Berdasarkan pada data yang disajikan pada tabel 1 yang dianalisa dengan sistem regresi berganda diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2. Analisa Regresi Berganda

	df	SS	MS		
Regression	1	4,00445	4,00445	25,53587	0,124374
Residual	1	0,156817	0,156817		
Total	2	4,161267			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	95% Lower	95% Upper	95,0% Lower	95,0% Upper
Intercept	10,03333	0,604901	16,58673	0,038335	2,347334	17,71933	2,347334	17,71933
X								
Variable								
1	-1,415	0,280015	-5,0533	0,124374	-4,97293	2,142926	-4,97293	2,142926

Berdasarkan tabel analisa tersebut dapat diberikan penegasan persamaan linear dari data proses fermentasi tape singkong bahwa persamaan kadar alkohol adalah $Y = 10,03 - 1,415 X$

2. Konstruksi Pemodelan Matematika Fermentasi Alkohol pada Tape Singkong Melalui Alat Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)

Perubahan banyaknya gula dalam fermentasi pada saat t sekon adalah

$$\frac{d}{dt} S(t) = -a \frac{d}{dt} X(t) - m X(t) \dots\dots\dots (1)$$

Dengan

$\frac{d}{dt} X(t)$ adalah laju pertumbuhan semua sel ragi pada saat t

a adalah massa gula yang dibutuhkan 1 sel ragi untuk berkembang

m adalah massa gula yang dibutuhkan sel ragi untuk hidup.

Probabilitas perkembangan sel ragi dalam glukosa adalah

$$\frac{S(t)}{S(t)+A} \dots\dots\dots (2)$$

dengan A adalah gula di luar glukosa.

Probabilitas sel ragi berada pada senyawa nonetanol/ enzim adalah

$$\frac{M}{M+E(t)} \dots\dots\dots (3)$$

Sedangkan laju pertumbuhan satu sel ragi p, maka laju perkembangan sel-sel ragi adalah

$$\frac{d}{dt} X(t) = p \frac{M S(t)}{(S(t)+A)(M+E(t))} X(t) \dots\dots\dots (4)$$

Pada reaksi kimia perubahan gula menjadi alkohol dengan mengubah 1 mol gula menjadi 2 mol etanol, maka massa alkohol M_A dan massa gula M_G , maka perkembangan etanol pada saat t adalah

$$\frac{d}{dt} E(t) = - \frac{2 M_A}{M_G} \frac{d S(t)}{dt} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan sistem persamaan bidang phase untuk S dan X pada persamaan (1), (4) dan (5) diperoleh

$$= \frac{m(S(t)+K)}{p S(t)} \left(1 + \frac{E(t)}{M} \right) = a + \frac{d S(t)}{X(t)} \dots\dots\dots (6)$$

Sedangkan pada persamaan (5) dapat diperoleh

$$\frac{d}{dt} E(t) = -c \frac{d S(t)}{dt} \text{ dengan } c = - \frac{2 M_A}{M_G}$$

maka dengan integrasi, maka akan diperoleh persamaan

$$E(t) = -c (S(t) - S(0)) \dots\dots\dots (7)$$

Dengan substitusi persamaan (7) ke persamaan (6), maka akan diperoleh

$$a + \frac{m(S(t)+K)}{p S(t)} \left(1 - \frac{c}{M} (S(t) - S(0)) \right) = - \frac{d(S(t))}{d X(t)}$$

Dengan merekayasa pada persamaan kadar alkohol pada persamaan tersebut, maka akan diperoleh pemodelan matematika

$$(Q + dK) = \frac{c}{S(0)} S(t)^2 - S(t)$$

dengan $d = \frac{c Q S(0)}{KM}$

dan $Q = \frac{m K}{p} B$

IV. KESIMPULAN

Dengan menentukan variabel yang mempengaruhi reaksi fermentasi alkohol tape singkong dengan Alat *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* dan direkayasa melalui persamaan linear dari data proses fermentasi tape singkong bahwa persamaan kadar alkohol adalah $Y = 10,03 - 1,415 X$ dengan pemodelan matematika $a + \frac{m(S(t)+K)}{p S(t)} (1 - \frac{c}{M} (S(t) - S(0))) = - \frac{d(S(t))}{d X(t)}$ dengan $(Q + dK) = \frac{c}{S(0)} S(t)^2 - S(t)$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesaikannya program penelitian mulai dari proses hingga akhir kegiatan, tim mengucapkan terima kasih yang terhingga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (PPPM) Politeknik Negeri Jember yang telah memberikan bantuan dana melalui pendanaan PNPB tahun 2022. Tim juga mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang besar pada semua pihak yang turut mendukung terlaksananya penelitian, baik laboratorium, teknisi dan pihak mahasiswa hingga kegiatan penelitian dan artikel ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Warawardhana, D dan Maharani, Y. 2014. Indonesia Culinary Center. Jurnal Tingkat Sarjana Bidang Senirupa dan Desain. vol 3(1): 1-6.
- [2] Faridah, HD and Sari, SK. 2019. Utilization of microorganism on the development of halal food based on biotechnology. Journal of Halal Product and Research. vol 2(1): 33-43.
- [3] Sari, P.M dan Puspaningtyas, D. 2019. Skor aktivitas prebiotik growol (makanan fermentasi tradisional dari singkong) terhadap *Lactobacillus* sp. dan *Escherichia coli*. Ilmu Gizi Indonesia. vol 2(2): 101-106.
- [4] Yahfoufi, N., Mallet, J. F., Graham, E., and Matar, C. 2018. Role of probiotics and prebiotics in immunomodulation. Current Opinion in Food Science. vol 20(April): 82-91
- [5] Cairns Donald, 2014. Intisari Kimia farmasi. Jakarta. Buku Kedokteran EGC.
- [6] Djunaidi K, Jatnika H, Ningrum F.R, Kabidoyo. 2019. Alat pendeteksi dan Monitoring

- kematangan Tape. Jurnal PETIR, Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika. Vol 12 (2) 222-230.
- [7] Adyana A.P.M, Swamardika IB Alit, Rahardjo pratolo (2015). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kadar Alkohol pada minuman beralkohol menggunakan sensor MQ-3 berbasis A Tmega328. E-Jurnal SPEKTRU M. vol 2 (3)
- [8] Waites, M.J., Morgan, N.L., Rockey, J.S., and Gary Highton (2001). Industrial Microbiology: An Introduction. USA: Blackwell science.
- [9] Nurwahyu Budi (2009). Model Matematika Fermentasi Alkohol dari Buah Anggur. Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi (JMSK). Vol. 6(1) 49-58.
- [10] Fatahillah, Arif. (2010). Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Korosi Besi yang Didasarkan pada Sifat Kimia Larutan. KadikMa. Vol. 2 (1): 71-80

Mathematical Modeling Of Tape Fermentation Optimization Analysis At Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) With Hybrid System

Ahmad Rofi'i¹, Fendik Eko Purnomo² and Faisal Lutfi Afriansyah³

^{1,2}Mechatronic Engineering Technology Study Program, Engineering of Departement, Polytechnic of Jember.

³Information Management of Departement, Polytechnic of Jember

rofii@polije.ac.id

Abstract. The aim of this research is to determine a mathematical model for optimizing tape fermentation using a Temperature and Fermentation Controlled Chamber (TFCC) with a Hybrid System. The resulting mathematical model was analyzed using a non-linear differential method using Runge-Kutta. The thing that was analyzed was the change in the rate of yeast concentration, the rate of change in the concentration of ethanol and glucose resulting from the fermentation process. TFCC with *Hybrid System Technology* is equipped with an automated system accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated in the device. The research method used is experimental research by designing a tool that can be used to produce/cook fermented foods while monitoring pH, alcohol, glucose levels and temperature levels which are integrated in a set of tools called the *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with *Hybrid Systems Technology*. With the analysis process with a mathematical model through the

Runge-Kutta method, it is obtained $\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{xx} + S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{px}}} - K_d X(t), \frac{dS(t)}{dt} = -\frac{q_{s,maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{ps}}}$ and $\frac{dP(t)}{dt} = \alpha \frac{dX(t)}{dt} \left[\frac{q_{p,maks} S(t) X(t)}{K_{sp} + S(t)} \times \frac{K_{ip}}{K_{ip} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{pp}}} \right]$.

1. Introduction

Currently, fermented food products have become food products that have been developed and become local and national superior products. The food products produced are the result of food processing that is processed traditionally and adapts to the culture and characteristics of the natural surroundings. This can be observed in the process of processing fermented food with raw materials taken from nature, processed with tools to the traditional fermentation process. This process has been known for a long time by the community who is considered a food recipe derived from ancestors. Chemically, fermentation is a process of hydrolysis of carbohydrate compounds into organic acids, oligosaccharides, reducing sugars and some resistant starch into prebiotics [1]. While prebiotics can have a beneficial impact on the balance of the digestive tract and immunity [2]. While in the food processing process, it is necessary to pay attention to the alcohol content produced because it will cause health problems, as recommended by the world health agency, WHO that the sugar content per day in consumption is 10% of total energy or equivalent to 50 grams per person [3].

Various problems occur in the process of processing fermented foods. One of the technical problems in the process of processing fermented food is that too much yeast concentration will cause a decrease in the simple sugars produced by fermentation [4]. The results of other studies that focus on high concentrations of tape yeast concentrations with certain brands show that the alcohol content, acidity, pH and reducing sugar levels undergo indeterminate changes that affect the quality of fermented foods [5]. Some of these problems are because the processing process is still using traditional methods and there is no touch of technology that supports the process of processing fermented foods. Various research results that focus on the application of technology to assist the processing of fermented foods. One of them is the design of indicators of weight, temperature and alcohol content using the fuzzy method based on the ATmega 16 microcontroller [6]. The design still shows an efficiency of 58.29% from manual fermentation. The application of alcohol gas monitoring system technology in food fermentation based on the TGS 2620 sensor has also resulted in measurements that monitor alcohol levels showing a measurable level of 0.73% to 1.63% [7]. Another finding is a device for detecting alcohol levels for alcoholic beverages using an Atmega328-based MQ-3 sensor [8]. The findings of the tool can only detect and control maturity, without knowing the content of probiotic elements, alcohol content and the degree of acidity caused by the ripening process of the food. Meanwhile, in the process of further analysis and development, it is necessary to do mathematical and parametric calculations so that it will be able to function through the continuity of research through the application of mathematical modeling. Many mathematical models and parametric analysis are applied in studying the problem, one of which is the problem of fermentation. Representation of mathematical concepts and operations resulting from changes in equations on variables as a step to describe a system [9]. Several methods on mathematical modeling in predicting the fermentation process. The Michaelis-Menten mechanism is a simple mathematical modeling mechanism in predicting the fermentation process [10]. The function of the *Batch Culture System* is also a method of exponential growth phase of microbial increase [11]. Another method that is also applied in the production of concentration rates is the Luedeking-Piret model [12]. Meanwhile, with various methods of mathematical modeling, there is the Runge Kutta method which is a numerical method with dynamic numerical solutions and can be applied in various fields. As a tool that can be used in an integrated manner through a medium that functions as a cooking furnace and monitoring food quality control, from the degree of acidity, glucose content to alcohol content which is controlled by the automation module system and sensors through the Design and Build *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)*.

Design of Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)

The *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* tool is equipped with an automated system accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated in the tool. Sensors used include MQ-3 as a sensor for detecting alcohol levels, type K *thermocouple* to detect temperature levels, pH meter to measure acidity levels of fermented food and equipped with a tft LCD to display notifications of results of measurements of alcohol content, pH, temperature and sugar content on fermented food that has been processed in production in one integrated tool through a furnace that is insulated from *stainless steel* so that it is heat resistant, spreads heat evenly and does not rust easily.

The *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with Hybrid System Technology is equipped with an automated system accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated on the device. Sensors used include MQ-3 as a sensor for detecting alcohol levels, type K *thermocouple* to detect temperature levels, pH meter to measure acidity levels of fermented food and equipped with a tft LCD to display notifications of results of measurements of alcohol content, pH, temperature and sugar content on fermented food that has been processed in production in one integrated tool through a furnace that is insulated from *stainless steel* so that it is heat resistant, spreads heat evenly and does not rust easily.

The design of the *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with Hybrid System Technology can be presented in the following figure.

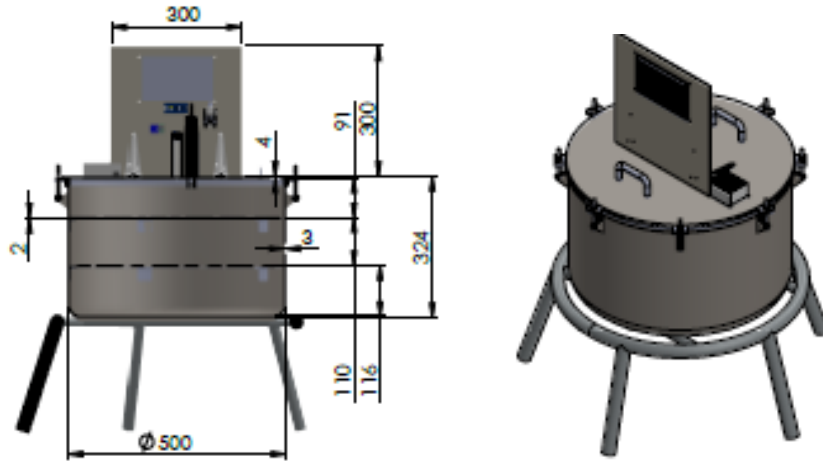


Figure 1. Design of TFCC

In this tool, which is used to produce/cook raw materials in the form of cassava as the basic ingredient for making fermented food products. After the fermented food has cooled with the help of *air flow* then yeast is given at a certain rate. Then it is stored back in the production media and activated by the integrated designed pH, alcohol and glucose monitoring components.

Runge-Kutta method

The Runge-Kutta method is part of a one-step numerical method with the solution of the initial conditions problem $x' = f(t, x)$ with $x(t_0) = x_0$. Numerical solution in the fourth-order Runge-Kutta method with the following formula

$$t_{n+1} = t_n + h$$

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 3k_3 + k_4) \quad (1)$$

with $n = 0, 1, \dots$

h is the step parameter

$$k_1 = hf(t_n, x_n)$$

$$k_2 = hf\left(t_n + \frac{h}{2}, x_n + \frac{k_1}{2}\right)$$

$$k_3 = hf\left(t_n + \frac{h}{2}, x_n + \frac{k_2}{2}\right) \quad (2)$$

$$k_4 = hf(t_n + h, x_n + k_3)$$

Let the solution to p the first order equation be $x_1(t), \dots, x_p(t)$

$$x'_1(t) = f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_p)$$

$$x'_2(t) = f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_p)$$

⋮
⋮
⋮

$$x'_p(t) = f_p(t, x_1, x_2, \dots, x_p)$$

(3)

With initial conditions $x_1(t_0) = x_1^0, x_2(t_0) = x_2^0, \dots, x_p(t_0) = x_p^0$

While the general form of the fourth-order Runge-Kutta method is

$$t_{n+1} = t_n + h \quad \text{where } h \text{ is the step parameter size}$$

$$x_{n+1,i} = x_{n,i} + \frac{1}{6} (k_{1,i} + 2k_{2,i} + 2k_{3,i} + k_{4,i}) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} k_{1,i} &= hf_i(t_n, x_{n,1}, x_{n,2}, x_{n,3}, \dots, x_{n,p}) \\ k_{2,i} &= hf_i(t_n + \frac{h}{2}, x_{n,1} + \frac{k_{1,i}}{2}, x_{n,2} + \frac{k_{1,2}}{2}, \dots, x_{n,p} + \frac{k_{1,p}}{2}) \\ k_{3,i} &= hf_i(t_n + \frac{h}{2}, x_{n,1} + \frac{k_{2,i}}{2}, x_{n,2} + \frac{k_{2,2}}{2}, \dots, x_{n,p} + \frac{k_{2,p}}{2}) \\ k_{4,i} &= hf_i(t_n + h, x_{n,1} + k_{3,1}, x_{n,2} + k_{3,2}, \dots, x_{n,p} + k_{3,p}) \end{aligned} \quad (5)$$

With $i = 1, 2, 3, \dots, p$ [13].

2. Research Method

The research method used is experimental research by designing a tool that can be used to produce/cook fermented foods while monitoring pH, alcohol, glucose levels and temperature levels which are integrated in a set of tools called the *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with *Hybrid Systems* Technology . The purpose of this research is focused on product design in the form of production equipment and monitoring of fermented food which is integrated into a set of tools that are systemized with an instrumentation system, automation is supported by energy from gas fuel as heat energy support. The next stage is to test the tool that has been designed and calibrate it to ensure that the tool functions optimally. The analysis stage is carried out through mathematical modeling in accordance with the concept and flow of parametric and calculation development.

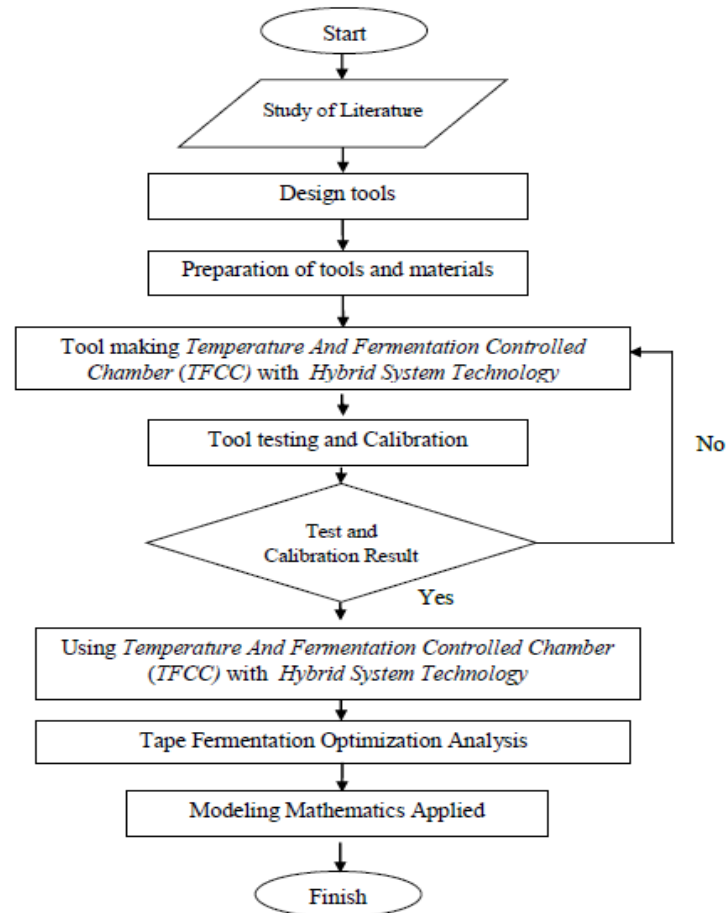


Figure 2. Research Flow chart

While the flowchart of the numerical scheme in the construction of mathematical modeling can be presented in the following figure:

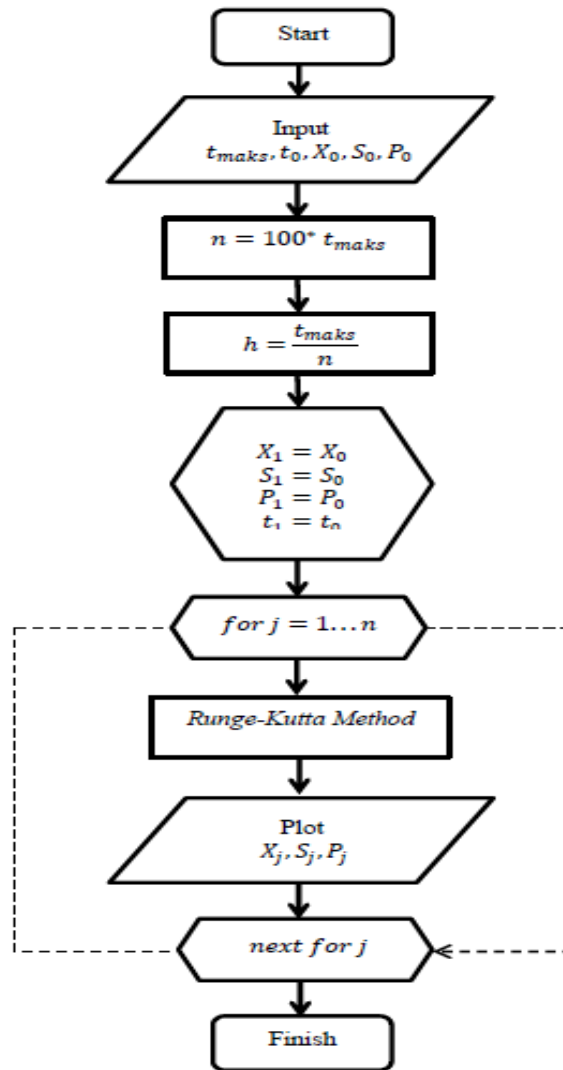
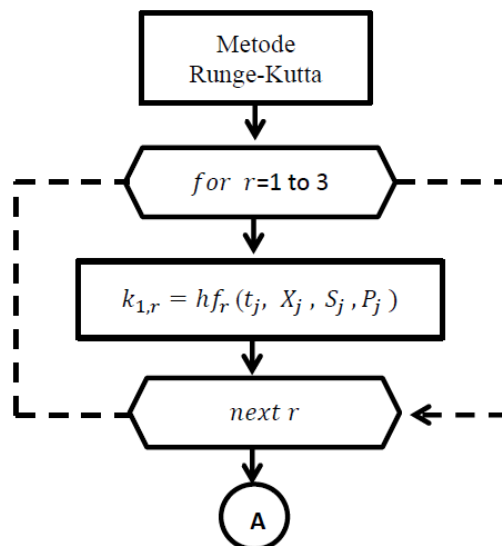


Figure 3. Flow chart of Modeling Mathematics

The schema of the fourth-order Runge-Kutta method analysis can be explained in the following plot:



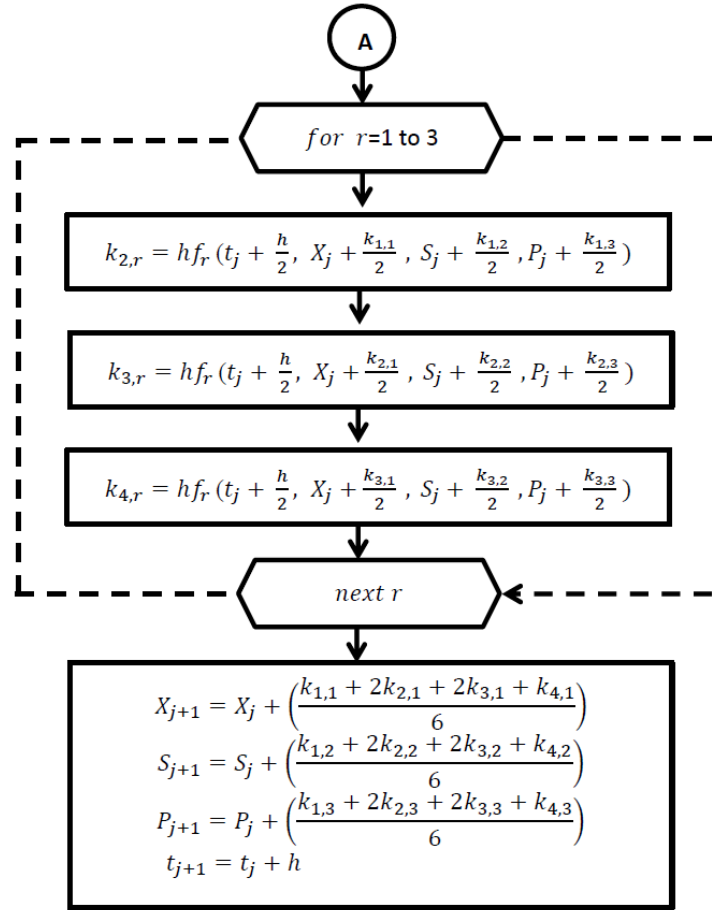


Figure 4. Flow chart of Fourth order Runge-Kutta Method

3. Result And Discussion

Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) With Hybrid System

A *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with *Hybrid System* Technology, which is a production tool as well as monitoring the quality of fermented food, both the level of maturity, the degree of acidity, the degree of glucose and alcohol. The *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC)* with *Hybrid System* Technology is equipped with an automated system accompanied by sensors that detect food quality and can be directly observed through the LCD screen integrated on the device. Sensors used include MQ-3 as a sensor for detecting alcohol levels, type K *thermocouple* to detect temperature levels, pH meter to measure acidity levels of fermented food and equipped with a tft LCD to display notifications of results of measurements of alcohol content, pH, temperature and sugar content on fermented food.



Figure 5. Making Process of TFCC

After welding and checking every corner and component that has been integrated in an integrated manner, testing and calibration is carried out on the tool to ensure that the tool is functioning optimally.



Figure 6. Tools Testing and Calibration of *TFCC*

Alcohol fermentation measurements were carried out after the instrument calibration process and carried out with materials such as cassava which were processed to become tape with predetermined yeast. Cassava tape production process through *Temperature And Fermentation Controlled Chamber (TFCC) with Hybrid System Technology* which has been calibrated so that it can be used. The production process is carried out by processing the cooking of cassava in a tube which is heated through a heating process with a conductivity system. After a certain temperature of cooked cassava which is monitored through a temperature sensor, then the ripe cassava is given yeast.

Model Formulation

Let $X(t)$, $S(t)$ and $P(t)$ express the yeast concentration, ethanol concentration and sugar concentration produced in the fermentation process at time t . The variables and chemical changes can be constructed into equations with the following assumptions:

The growth rate of yeast cells can be viewed as the change in their concentration with time through the fermentation process up to a point t which can be expressed as

$$\frac{dX(t)}{dt} = \mu X(t), \quad (6.1)$$

where μ is the coefficient of fermentation rate

Fermentation activity in yeast cells is triggered by the presence of many yeasts. The more the amount of yeast, the longer the fermentation process and the resulting ethanol concentration. The fermentation rate is assumed to be the growth rate which can mathematically be written

$$\mu = \frac{\mu_{maks} S(t)}{K_m + S(t)} \quad (6.2)$$

where μ_{maks} is the maximum fermentation rate and K_m is the constant value in the fermentation process. When the concentration $S = 0$ is, then the rate $\mu = 0$ is the condition where the yeast does not grow anymore.

From equations (6.1) and (6.2) can be substituted into a new equation

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_m + S(t)} \quad (6.3)$$

The rate of fermentation is also influenced by the limited amount of enzyme, so that the constant value is K_m changed to K_{xs}

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{xs} + S(t)} \quad (6.4)$$

At the maximum concentration of yeast, it will inhibit the activity of enzymes that cause cells to lose *lysis* and eventually die. In the equation using a *non-competitive inhibition model* so that the growth rate of yeast cells in the fermentation process after an obstacle is stated by K_{ix} stating the inhibition constant by the enzyme.

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{xs} + S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix} + S(t)} \quad (6.5)$$

In equation (6.5) it is influenced by the high sugar concentration resulting from the sugar concentration before it is inhibited P_{ix} , with the maximum sugar concentration P_{mx} so that the yeast concentration rate in the fermentation process is

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{xs} + S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix} + S(t)} \times \frac{P_{mx} - P(t)}{P_{mx} - P_{ix}} \quad (6.6)$$

Meanwhile, for the growth rate of ethanol in the fermentation process by $q_{s,maks}$ stating the specific enzyme rate and K_{ss} stating the limiting constant of the enzyme, we get the equation

$$\frac{dS(t)}{dt} = - \frac{q_{s,maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \quad (6.7)$$

With the same method in equations (6.1), (6.2) to (6.6), then we get

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= - \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is} + S(t)} \\ \frac{dS(t)}{dt} &= - \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is} + S(t)} \times \frac{P_{ms} - P(t)}{P_{ms} - P_{is}} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Through the completion of a system of non-linear ordinary differential equations, it can be obtained the equation for the growth rate in the fermentation process as follows:

$$\begin{aligned} \frac{dX(t)}{dt} &= \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix} + S(t)} \times \frac{P_{mx} - P(t)}{P_{mx} - P_{ix}} \\ \frac{dS(t)}{dt} &= - \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is} + S(t)} \times \frac{P_{ms} - P(t)}{P_{ms} - P_{is}} \\ \frac{dP(t)}{dt} &= \alpha \frac{dX(t)}{dt} \left[\frac{q_{maks} S(t) X(t)}{K_{sp} + S(t)} \times \frac{K_{ip}}{K_{ip} + S(t)} \times \frac{P_{mp} - P(t)}{P_{mp} - P_{ip}} \right] \end{aligned} \quad (6.9)$$

system of non-linear ordinary differential equations, then the equation for the growth rate in the fermentation process in the second model can be obtained

$$\begin{aligned}\frac{dX(t)}{dt} &= \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{sx}+S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix}+S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{px}}} - K_d X(t) \\ \frac{dS(t)}{dt} &= -\frac{q_{s,maks} S(t) X(t)}{K_{ss}+S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is}+S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{ps}}} \\ \frac{dP(t)}{dt} &= \alpha \frac{dX(t)}{dt} \left[\frac{q_{p,maks} S(t) X(t)}{K_{sp}+S(t)} \times \frac{K_{ip}}{K_{ip}+S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{pp}}} \right]\end{aligned}\quad (6.10)$$

Simulation Result

Yeast cell growth rate model simulation

The values for the initial conditions and parameters used in the first model are given in table 1 below.

Table 1. Initial requirements of the Fermentation Model

Initial concentration (X ₀)	Initial concentration (S ₀)	Initial concentration (P ₀)
10 g/l	0.2 g/l	0
20 g/l	0.2 g/l	0
30 g/l	0.2 g/l	0
40 g/l	0.2 g/l	0
50 g/l	0.2 g/l	0

While the parameter values of the fermentation model are obtained in table 2 below.

Table 2. Parameter values of fermentation model

Yeast cell growth model	
μ_{max} (hour ⁻¹)	1.15
K_{ix} (g/l)	300
S_{sx} (g/l)	1.35
P_{ix} (g/l)	1.42
P_{mx} (g/l)	48.9
Ethanol growth model	
$q_{s,max}$ (g product .hours ⁻¹)	3.50
K_{is} (g/l)	1.45
S_{ss} (g/l)	2.10
P_{is} (g/l)	48.0
P_{ms} (g/l)	95.5
Model produksi gula	
α (g produk .jam ⁻¹)	0.42
$q_{p,max}$ (g produk .jam ⁻¹)	3.05
K_{ip} (g/l)	145
S_{sp} (g/l)	2.06
P_{ip} (g/l)	48.0
P_{mp} (g/l)	95.5

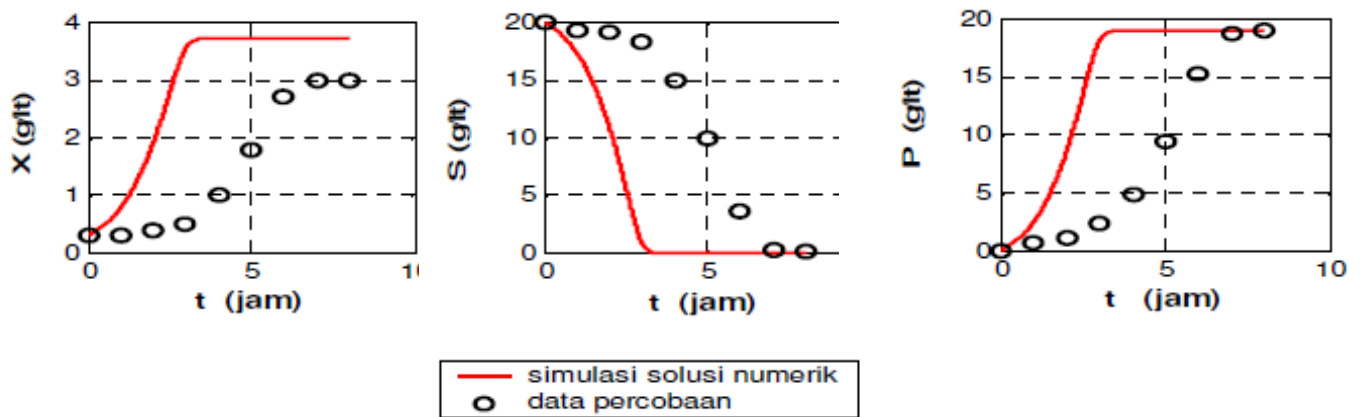


Figure 7. Numeric solution for X(t), S(t) and P(t)

From the numerical explanation, it can be seen that when t is small, the rate of yeast development in the fermentation process will be small, the number of yeast cells is still small. As a result, the growth rate will be slow. This can be seen from the graph of the increase in X(t) and P(t) as well as the graph of S(t) which is still slow. The greater the time t, the rate of yeast consumption is also greater because the number of yeast cells is also increasing. As a result, the growth rate of ethanol and sugar is also large. This can be seen from the graph of an increase in X(t) and P(t) as well as a graph of a faster decline in S(t). When the maximum consumption rate is reached, then the values of X(t), S(t) and P(t) are constant. The amount of concentration in the resulting ethanol is close to the initial concentration of sugar produced.

4. Conclusion

Based on data analysis, parametric simulation with the Runge Kutta method, it can be concluded that the mathematical model for optimizing the fermented tape is obtained $\frac{dX(t)}{dt} = \frac{\mu_{maks} S(t) X(t)}{K_{xx} + S(t)} \times \frac{K_{ix}}{K_{ix} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{px}}} - K_d X(t)$, $\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{q_{s,maks} S(t) X(t)}{K_{ss} + S(t)} \times \frac{K_{is}}{K_{is} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{ps}}}$ and $\frac{dP(t)}{dt} = \alpha \frac{dX(t)}{dt} \left[\frac{q_{p,maks} S(t) X(t)}{K_{sp} + S(t)} \times \frac{K_{ip}}{K_{ip} + S(t)} \times e^{\frac{-P(t)}{K_{pp}}} \right]$. The greater the time t, the rate of yeast consumption is also greater because the number of yeast cells is also increasing. As a result, the growth rate of ethanol and sugar is also large. This can be seen from the graph of an increase in X(t) and P(t) as well as a graph of a faster decline in S(t).

5. Reference

- [1] Faridah, HD and Sari, SK. 2019. Utilization of microorganism on the development of halal food based on biotechnology. *Journal of Halal Product and Research*. vol 2(1): 33-43
- [2] Yahfoufi, N., Mallet, J. F., Graham, E., and Matar, C. 2018. Role of probiotics and prebiotics in immunomodulation. *Current Opinion in Food Science*. vol 20 (April): 82-91
- [3] Cairns Donald, 2014. *Intisari Kimia farmasi*. Jakarta. Buku Kedokteran EGC
- [4] Kanino D, 2019. Pengaruh Konsentrasi Ragi Pada Pembuatan Tape Ketab. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Agrokompleks*. Vol 2(1): 64-74

- [5] Ninsix Retti, 2013. Pengaruh Konsentrasi Ragi Merk NKL terhadap Mutu Tape yang Dihasilkan. Jurnal Teknologi Pertanian. Vol 2 (2): 1-11
- [6] Isnainin N, Ulum Miftachul, Joni Koko, 2020. Rancang Bangun Indikator Berat, Temperatur dan Kadar Alkohol Pada Proses Fermentasi Singkong (Tape) dengan Metode Fuzzy Berbasis Microcontroller Atmega 16. JEECOM. Vol 2(1): 8-14.
- [7] Negara Maulana Kussuma, Wirawan Rahardi dan Qomariyah Nurul, 2020. Rancang Bangun Sistem Monitoring Gas Alkohol Pada Fermentasi Ketan Berbasis Sensor TGS 2620. ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika. Vol 6(2): 225-229.
- [8] Adyana A.P.M, Swamardika IB Alit , Rahardjo pratolo (2015). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kadar Alkohol pada minuman beralkohol menggunakan sensor MQ-3 berbasis A Tmega328. E-Jurnal SPEKTRUM. vol 2 (3). 111-115.
- [9] Fatahillah, Arif. (2010). Pemodelan dan Penyelesaian Numerik dari Permasalahan Korosi Besi yang Didasarkan pada Sifat Kimia Larutan. KadikMa. Vol. 2 (1): 71-80
- [10] Lehninger, A.L. 1997. Dasar-dasar Biokimia, Terjemahan Maggy T. Erlangga. Jakarta.
- [11] Rohan, A. 1992. Teknologi Fermentasi. Arcani. Jakarta
- [12] Hidayat, N. M.C. Padaga dan S. Suhartini. 2006. Mikrobiologi Industri. Andi Offset, Yogyakarta.
- [13] Nagie, R.K dan E.B. Saff. 1993. Fundamental of Differensial Equations and Boundary Value Problems. Addison-Wesley Publishing Company. USA.

Acknowledgments

With the completion of the research program starting from the process to the end of the activity, the team expresses its deepest gratitude to the Jember State Polytechnic Research and Community Service Institute (PPPM) which has provided financial assistance through PNBK funding in 2022. The team also expresses gratitude and great appreciation to all parties who support the implementation of research, both laboratories, technicians and students so that research activities and this article can be completed.