

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PEMBUATAN BIOETANOL
DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE
*SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION
AND FERMENTATION***

(Skripsi)

Oleh

**TUTI IDAWATI
NPM 2013023012**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PEMBUATAN BIOETANOL
DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE
*SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION
AND FERMENTATION***

Oleh

TUTI IDAWATI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PENDIDIKAN

Pada

Program Studi Pendidikan Kimia
Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE *SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND FERMENTATION*

Oleh

Tuti Idawati

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* yang memenuhi syarat didaktik, konstruksi, dan teknis. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development (R&D)* menurut Brog and Gall. Penelitian ini dilakukan sampai pada tahap ketiga dari sepuluh tahap, yaitu penelitian dan pengumpulan informasi, perencanaan, dan pengembangan produk awal. Instrumen yang digunakan berupa pedoman wawancara dan kuesioner. Sumber data diperoleh dari tiga dosen validasi ahli.

Hasil validasi desain alat yang dilakukan oleh tiga validator ahli diperoleh rata-rata persentase sebesar 86,66%. Alat praktikum pembuatan bioetanol yang telah dikembangkan terdiri dari tiga komponen utama yaitu alat hidrolisa yang digunakan pada proses hidrolisis, fermentor yang digunakan pada proses fermentasi, serta destilator pada proses destilasi. Karakteristik alat praktikum pembuatan bioetanol dengan metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* yaitu proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara bersamaan (simultan) dalam satu reaktor. Hasil validasi uji keberfungsian alat yang dilakukan oleh tiga validator ahli juga diperoleh rata-rata persentase sebesar 87,33% dengan kriteria sangat tinggi dan valid. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* dapat berfungsi dengan baik dan layak digunakan.

Kata kunci: alat praktikum pembuatan bioetanol, bioetanol, kulit nanas.
Simultaneous Saccharification and Fermentation

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF PRACTICAL TOOLS FOR MAKING BIOETHANOL FROM PINEAPPLE SKIN WASTE USING SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND FERMENTATION METHOD

By

Tuti Idawati

This study aims to develop a practical tool for making bioethanol from pineapple peel waste using the Simultaneous Saccharification and Fermentation method that meets the didactic, construction, and technical requirements. The research design used in this study is Research and Development (R&D) according to Brog and Gall. This research was conducted up to the third stage of ten stages, namely research and information collection, planning, and initial product development. The instruments used were interview guidelines and questionnaires. Data sources were obtained from three expert validation lecturers.

The results of the tool design validation carried out by three expert validators obtained an average percentage of 86.66%. The developed bioethanol making practical tool consists of three main components, namely the hydrolysis tool used in the hydrolysis process, the fermentor used in the fermentation process, and the distillator in the distillation process. The characteristics of the bioethanol making practical tool using the Simultaneous Saccharification and Fermentation method are that the hydrolysis and fermentation processes are carried out simultaneously in one reactor. The results of the validation of the tool's functional test carried out by three expert validators also obtained an average percentage of 87.33% with very high and valid criteria. Thus, it can be concluded that the practical tool for making bioethanol from pineapple skin waste using the Simultaneous Saccharification and Fermentation method can function well and is suitable for use.

Keywords: bioethanol production laboratory equipment. bioethanol. pineapple skin. Simultaneous Saccharification and Fermentation

Judul Skripsi

: **PENGEMBANGAN ALAT PRATIKUM
PEMBUATAN BIOETANOL DARI LIMBAH
KULIT NANAS DENGAN METODE
SIMULTANEOUS SACCHARIFICATION AND
FERMENTATION**

Nama Mahasiswa

: **Juti Idawati**

No. Pokok Mahasiswa

: 2013023012

Program Studi

: Pendidikan Kimia

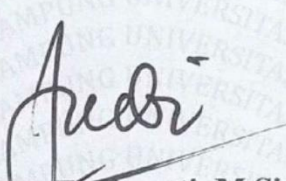
Jurusan

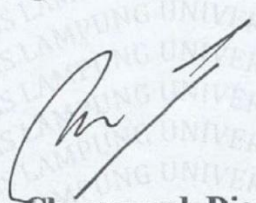
: Pendidikan MIPA

Fakultas

: Keguruan dan Ilmu Pendidikan




Dr. Noor Fadiawati, M.Si.
NIP 19660824 199111 2 001


Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.
NIP 19660824 199111 2 002

2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA


Dr. Nurhanurawati, M.Pd.
NIP 19670808 199103 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Noor Fadiawati, M.Si.**

Sekretaris

: **Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si.**

Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. M. Setyarini, M.Si.**

2. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd.

19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **11 Juni 2025**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tuti Idawati
NPM : 2013023012
Program Studi : Pendidikan Kimia
Jurusan : Pendidikan MIPA

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya yang berjudul "Pengembangan Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation*". Baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik.

Apabila di kemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya maka saya bertanggung jawab sepenuhnya.

Bandarlampung, 11 Juni 2025
Yang Membuat Pernyataan,



Tuti Idawati
NPM 2013023012

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotaagung Kab. Tanggamus, pada tanggal 27 Desember 2001 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sohari dan Ibu Sumyati. Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 3 Pasar Madang yang diselesaikan pada tahun 2014, kemudian dilanjutkan Sekolah Menengah Pertama di MtS Negeri 1 Tanggamus dan lulus pada tahun 2017, lalu Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Kotaagung dan lulus pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti kegiatan kemahasiswaan yaitu Forum Silaturahmi Mahasiswa Pendidikan Kimia (Fosmaki). Pada tahun 2023, penulis mengikuti program Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) yang terintegrasi dengan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di SMA Negeri 1 Kasui, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamiin. Segala puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Kupersembahkan skripsi ini kepada orang-orang yang sangat berharga dan berarti dalam hidupku.

Kedua orang tuaku (Bapak Sohari dan Ibu Sumyati)

Terimakasih atas ridho, dukungan, serta doa yang senantiasa dipanjatkan dalam setiap sujud untuk mengiringi langkahku dalam mencapai kesuksesan. Terimakasih sudah menjadi motivasi dan alasan atas setiap cita-cita yang ingin dicapai. Terimakasih selalu memberikan cinta dan kasih sayang yang tiada hentinya. Terimakasih telah menjadi tempat pulang ternyaman. Semoga upaya dan kerja keras digantikan dengan pahala yang berlipat ganda.

Kakak- kakakku Tercinta

Terimakasih atas doa, semangat dan kasih sayang yang telah diberikan. Semoga kita menjadi anak yang dapat membahagiakan kedua orang tua.

Para Pendidikku (Dosen Pendidikan Kimia)

Terimakasih telah membimbing, memberikan ilmu serta kebaikan dan kasih sayang hingga berada di titik ini.

Sahabat dan Almamater tercinta, Universitas Lampung

MOTTO

“Kesuksesan tidak diukur dari seberapa sering anda jatuh, tetapi seberapa sering
anda bangkit kembali”
(Vince Lombardi)

“Tidak Mustahil bagi orang biasa untuk memutuskan menjadi luar biasa”
(Elon Musk)

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pendidikan.

Pada kesempatan ini disampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung;
2. Ibu Dr. Nurhanurawati, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Ibu Dr. M. Setyarini, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Kimia dan selaku pembahas untuk memberikan bimbingan, saran, dan kritik dalam proses penyusunan skripsi;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M.Si., selaku pembimbing akademik sekaligus pembimbing I atas perhatiannya dan kesabarannya dalam memberikan ilmu, saran, kritik, motivasi, serta ketersediaannya memberikan bimbingan, pengarahan, masukan kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini;
5. Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M.Si., selaku pembimbing II atas kebaikan dan keikhlasannya dalam memberikan bimbingan, kritik, dan saran.
6. Ibu Dra. Ila Rosilawati, M.Si., selaku validator atas ketersediannya untuk memberikan validasi terhadap Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol yang telah dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta memberikan dukungan dalam pembuatan skripsi.
7. Ibu Ni Putu Rahma Agustina, S.Si., M.Si.P., selaku validator atas ketersediannya untuk memberikan validasi terhadap Alat Praktikum

Pembuatan Bioetanol yang telah dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta memberikan dukungan dalam pembuatan skripsi.

8. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku validator atas ketersediannya untuk memberikan validasi terhadap Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol yang telah dikembangkan, memberikan saran dan kritik serta memberikan dukungan dalam pembuatan skripsi.
9. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Kimia dan segenap civitas akademik Jurusan Pendidikan MIPA;
10. Julian Rizky yang telah menjadi tempat bertukar pikiran, tempat berkeluh kesah, dan menjadi support system penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
11. Teman seperjuanganku, Nengah Anggi Puspa Dewi selaku rekan skripsi yang telah berjuang bersama dan membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Sahabat terbaikku Erviantina H, Justine, Anisa Auliya Sapitri, dan Zhilal Zhafirah yang telah berbagi suka-duka, serta memberikan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Teman-teman Pendidikan Kimia 2020 Pendidikan Kimia yang telah membantu selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
14. Segala pihak yang terlibat dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala dukungan, kritik dan saran yang telah diberikan.

Akhir kata Penulis berharap semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi ini, Aamiinn.

Bandarlampung, 11 Juni 2025

Penulis

Tuti Idawati

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Ruang Lingkup Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Bioetanol.....	6
B. Proses Pembuatan Bioetanol	7
C. Kulit Nanas	12
D. Metode <i>Simultaneous Saccharification and Fermentation</i>	13
E. Alat Praktikum.....	14
F. Penelitian Relevan	15
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
A. Metode Penelitian	21
B. Alur Penelitian	21
1. Penelitian dan pengumpulan informasi.....	23
2. Perencanaan	23
3. Pengembangan produk awal	25
C. Subjek dan Lokasi Penelitian	26
D. Sumber Data Penelitian	26

E. Instrumen Penelitian	27
F. Teknik Pengumpulan data.....	28
G. Analisis Data.....	28
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	31
A. Penelitian dan Penumpulan Data	31
B. Perencanaan	32
C. Pengembangan Produk Awal	37
V. SIMPULAN DAN SARAN	47
A. Simpulan.....	47
B. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	
1. Hasil validasi desain (validator 1).....	55
2. Hasil validasi desain (validator 2).....	58
3. Hasil validasi desain (validator 3).....	61
4. Rekapitulasi hasil validasi desain.....	64
5. Petunjuk penggunaan alat.....	65
6. Penuntun pratikum	70
7. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 1)	74
8. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 2)	78
9. Hasil validasi uji keberfungsian (validator 3)	82
10. Rekapitulasi hasil validasi uji keberfungsian	86
11. Dokumentasi kegiatan percobaan	87

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan gizi kulit nanas	13
2. Penskoran pada kuesioner berdasarkan skala <i>likert-5</i>	28
3. Tafsiran Skor (Persentase) Kuesioner	30
4. Kriteria validasi	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur molekul etanol.....	6
2. Rangkaian Alat Hidrolisa	9
3. Rangkaian Alat Fermentasi	10
4. Alat Destilasi Sederhana	11
5. Kulit Nanas.....	12
6. Alat destilasi oleh Akbar dkk	16
7. Alat pembuatan bioetanol oleh Ernita Dan Zola.....	17
8. Alat pembuatan bioetanol oleh Trisakti dkk.....	19
9. Alat pembuatan bioetanol oleh Wandono dkk	20
10. Langkah-langkah penelitian pengembangan Borg and Gall (1983).....	21
11. Alur Penelitian dan pengembangan alat praktikum	22
12. Desain awal alat praktikum pembuatan bioetanol	32
13. Desain hasil revisi pertama alat praktikum pembuatan bioetanol.....	35
14. Desain hasil revisi kedua alat praktikum pembuatan bioetanol	35
15. Diagram persentase hasil validasi desain	36
16. Alat praktikum pembuatan bioetanol dengan metode SSF	38
17. Hasil fermentasi pembuatan bioetanol	41
18. Foto uji nyala api.....	42
19. Diagram persentase hasil uji keberfungsian.....	43

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang mendasar bagi manusia. Sumber energi utama yang banyak digunakan untuk aktivitas masyarakat berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi (Rahmayanti dkk., 2021). Bertambahnya tingkat perekonomian dan pertambahan jumlah penduduk menyebabkan pemanfaatan energi juga akan semakin meningkat (Binar *et al.*, 2021). Penggunaan berkelanjutan energi tersebut dapat mengakibatkan cadangan minyak bumi semakin menipis karena bersifat tidak terbarukan (Ruing & Sulaiman, 2022). Jika energi tidak terbarukan terus digunakan, dikhawatirkan Indonesia dapat mengalami krisis energi pada tahun 2046 mendatang (Romadhon & Subekti, 2023).

Upaya dalam mengatasi kelangkaan energi diperlukan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan merupakan energi alternatif yang berasal dari sumber daya alam yang dapat digunakan sebagai pengganti energi fosil. Beberapa sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yaitu energi matahari, angin, air, biomassa, dan panas bumi (Kelvin dkk., 2024). Berbagai negara juga telah melakukan antisipasi kelangkaan energi melalui pengembangan teknologi energi terbarukan, efisiensi energi dan diversifikasi sumber energi serta dengan penghematan energi (Logayah *et al.*, 2023; Stančín *et al.*, 2020).

Kesadaran akan kelangkaan energi perlu ditanamkan pada setiap warga negara di seluruh dunia. Adanya kesadaran yang timbul dalam diri seseorang, bertujuan untuk memperoleh pemahaman tentang penggunaan energi. Pentingnya menanamkan nilai-nilai kesadaran hemat energi hendaknya dilakukan pada anak usia dini dan di lingkungan sekolah. Dalam hal ini pendidikan berperan penting dalam mempersiapkan peserta didik untuk memiliki pengetahuan, sikap, dan perilaku

yang bijak dalam penggunaan energi (Al Bahij *et al.*, 2019). Hal tersebut sejalan dengan capaian pembelajaran dalam kurikulum merdeka pada fase E, dimana peserta didik dituntut untuk memiliki kemampuan merespon isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah (Kemendikbudristek BSKAP, 2022).

Selanjutnya agar siswa dapat mencapai capaian tersebut, siswa harus dihadapkan dengan permasalahan kelangkaan energi. Siswa perlu dilatih dalam pembelajaran terkait pemanfaatan energi alternatif melalui praktikum yang menghasilkan bioetanol.

Adanya kegiatan praktikum akan memberikan makna yang lebih dalam bagi proses pembelajaran siswa (Hodson, 1990; Garnett dkk., 1995; Hofstein dan Lunetta, 2004; Abrahams dan Millar, 2008). Akan tetapi, untuk melaksanakan percobaan praktikum tersebut belum tersedia alat penghasil bioetanol yang bisa digunakan di laboratorium sekolah. Kegiatan praktikum di sekolah jarang sekali dilaksanakan dikarenakan terkendala oleh minimnya ketersediaan alat praktikum (Fadiawati dan Diawati, 2011; Fadiawati, 2013; Fadiawati dan Tania, 2014). Keterbatasan alat praktikum dikarenakan harga beli alat yang cukup mahal serta alat yang diinginkan sukar didapat, sehingga kegiatan praktikum menjadi terhambat (Hadi, 2009).

Terkait keterbatasan alat dalam pelaksanaan praktikum diperkuat sesuai hasil pada studi lapangan dengan mewawancarai guru kimia di SMA Negeri 1 Gedong Tataan, SMA Negeri 13 Bandarlampung, dan SMA Negeri 1 Natar. Kemudian diperoleh hasil bahwa ketiga sekolah tersebut pada kegiatan belajar mengajar sudah menerapkan kurikulum terbaru yaitu kurikulum merdeka. Namun, pada pembelajaran tentang kelangkaan energi belum melakukan kegiatan praktikum dikarenakan belum tersedia alat praktikum yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk energi alternatif. Oleh karena itu, umumnya siswa hanya mendapatkan pengetahuan literasi yang berkaitan dengan energi saja.

Beberapa peneliti telah mengembangkan alat yang dapat digunakan untuk membuat bioetanol seperti Al Akbar dkk. (2023) merancang alat destilasi pembuatan bioetanol yang terdiri dari tabung pemanas, pipa destilat dan tabung kondensor. Tabung pemanas terbuat dari *stainless steel* berkapasitas 4 liter berdiameter 25 cm dengan tinggi 150 cm serta menggunakan variasi kondensor berbentuk spiral dari pipa tembaga. Ernita dan Zola (2016) mengembangkan alat pembuatan bioetanol

yang terdiri dari tangki destilasi yang terbuat dari *stainless steel* dengan tebal 2 mm, pipa destilat dan tangki air pendingin (kondensor) yang terbuat dari drum besi dengan volume 200 liter serta dilengkapi dengan koil tembaga dan *valve* keluarnya produk. Trisakti dkk. (2015) mengembangkan alat pembuatan bioetanol berupa fermentor yang dilengkapi dengan pengaduk *paddle* berbahan *stainless steel* dan tangki destilasi yang dilengkapi dengan tangki air pendingin. Dimana tangki destilasi terbuat dari *stainless steel* dan tangki pendingin dari drum plastik dengan volume 70 liter. Wandono dkk. (2020) telah melakukan pengembangan alat pembuatan bioetanol dengan menggunakan peralatan rumah tangga seperti menggunakan wajan dan kompor sebagai alat hidrolisa dan galon bekas sebagai fermentor serta serangkaian alat destilasi.

Alat pembuatan bioetanol yang telah dikembangkan oleh Al Akbar dkk. (2020), Ernita dan Zola (2016), dan Trisakti dkk. (2015) dalam pengembangannya berhasil menghasilkan bioetanol, tetapi alat yang dikembangkan tidak dapat digunakan untuk praktikum di sekolah. Alat-alat yang digunakan berskala besar, harga jual yang relatif mahal dan masih rumit untuk dirancang. Pengembangan alat yang dilakukan oleh Wandono dkk. (2020) telah membuat alat pembuatan bioetanol yang berukuran lebih kecil dengan menggunakan peralatan rumah tangga sehingga alat mudah diperoleh. Namun dalam proses pembuatan bioetanolnya menggunakan metode *Separate Hydrolysis and Fermentation* (SHF). Dimana metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga dapat meningkatkan resiko adanya kontaminasi oleh mikroba yang tidak diinginkan serta terdapat penambahan biaya operasional. Oleh karena itu diperlukan alat praktikum pembuatan bioetanol berukuran skala laboratorium dengan metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF).

Metode SSF memiliki kelebihan yaitu proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara bersamaan dalam satu reaktor sehingga proses lebih singkat, hemat biaya, dapat mencegah penghambat dalam produk akhir serta dapat meningkatkan rendemen produk (Lin dan Tanaka, 2006). Kelemahan dari metode ini yaitu sulit mengontrol kondisi optimal untuk hidrolisis dan fermentasi secara bersamaan serta suhu dan pH optimal untuk kedua proses ini seringkali berbeda, sehingga sulit menemukan kondisi yang ideal untuk keduanya dalam satu proses.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian yang berjudul “Pengembangan Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation*”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana karakteristik Alat Praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* yang dikembangkan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengembangkan alat praktikum pada Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* yang memenuhi syarat didaktik, konstruksi, dan teknis.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi guru, dapat digunakan sebagai alat praktikum guna mendukung pelaksanaan praktikum pembuatan bioetanol
2. Bagi siswa, dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan praktikum di laboratorium serta dapat memudahkan siswa untuk mencapai capaian pembelajaran.
3. Bagi sekolah, dapat menambah sarana dan prasana sekolah

E. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

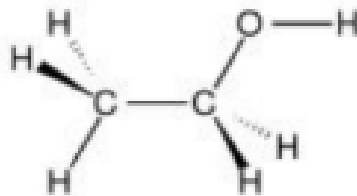
1. Alat yang dikembangkan yaitu alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* berskala laboratorium sekolah.

2. Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation* merupakan metode dimana pada proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara bersamaan dalam satu reaktor.
3. Penelitian pengembangan yang dilakukan mengikuti langkah-langkah pengembangan Brog and Gall (1983) hanya dilakukan sampai pada tahap ketiga yaitu pengembangan produk awal.
4. Pada uji keberfungsian, alat dikatakan berfungsi jika hasil uji memiliki kriteria kevalidan minimal cukup valid dengan persentase 51% - 75% menurut Arikunto (2010).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bioetanol

Bioetanol adalah salah satu bahan bakar alternatif yang sifatnya terbarukan. Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme (Novelia dkk., 2022). Etanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dengan menggunakan bahan baku nabati disebut bioetanol. Bioetanol mempunyai rumus molekul C_2H_5OH dengan rumus bangunnya CH_3-CH_2-OH namun sering ditulis dengan $EtOH$. Bioetanol diproduksi dari biomassa yang mengandung gula, pati, dan selulosa (Arlianti, 2018). Berikut ini struktur molekul etanol dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur molekul etanol
(Fessenden dan Fessenden, 1982)

Bioetanol memiliki sifat yang mudah menguap, mudah terbakar, larut dalam air, tidak karsinogenik, dan tidak memberikan dampak negatif pada lingkungan. Bioetanol dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan kandungan etanol minimal 10 % (Seftian dkk., 2012). Bioetanol juga memiliki sifat sebagai bahan bakar dengan memiliki nilai tingkat oktan yang tinggi (Kurniati dkk., 2021). Produksi bioetanol memiliki biaya yang terjangkau dikarenakan bahan bakunya berasal dari limbah pertanian yang mempunyai nilai ekonomis yang rendah (Novia dkk., 2014). Oleh karena itu, bioetanol menjadi salah satu energi alternatif untuk mengatasi kelangkaan energi.

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya untuk dijadikan bahan baku pembuatan bioetanol. Berikut adalah beberapa bahan baku bioetanol yang dapat dimanfaatkan:

1. Bahan yang mengandung glukosa tinggi seperti tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioka, kentang manis, sorgum manis.
2. Bahan yang mengandung pati tinggi (*starchy materials*) yaitu, ubi kayu, jagung, sorgum biji, sagu, tapioka, maizena, *barley*, gandum, padi, dan kentang.
3. Bahan lignoselulosa terdapat dalam berbagai sumber selulosa dan lignoselulosa seperti limbah berupa serat kayu, sekam padi, jerami, tongkol jagung dan limbah organik dari rumah tangga (Arlianti, 2018).

Bioetanol dapat dicampur dengan bensin dalam variasi komposisi yang berbeda saat digunakan sebagai bahan bakar. Menurut Amine dan Barakat (2019), keunggulan penggunaan bioetanol adalah:

1. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar aman ketika digunakan, karena titik nyala etanol tiga kali lebih tinggi dibandingkan bensin.
2. Emisi hidrokarbon lebih rendah

B. Proses Pembuatan Bioetanol

Pada umumnya proses pembuatan bioetanol dilakukan dalam empat tahap, yaitu:

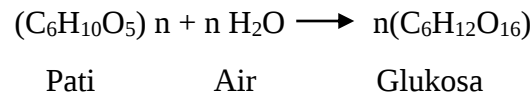
1. Proses Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses antara reaktan dengan air agar suatu senyawa mengalami pemecahan. Proses ini tergolong sebagai reaksi orde satu karena terdapat kelebihan air yang digunakan, sehingga perubahan reaktan dapat diabaikan (Susanti dkk., 2013). Dalam pembuatan bioetanol, hidrolisis berfungsi sebagai pengubah polisakarida menjadi glukosa. Hidrolisis dapat dilakukan melalui 4 metode, yaitu:

a. Hidrolisis Murni

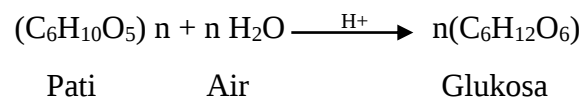
Proses hidrolisis murni melibatkan air sebagai katalis sehingga prosesnya berjalan dengan lambat. Oleh karena itu, perlu menambahkan zat-zat yang

sangat reaktif dan menggunakan uap air dengan suhu tinggi untuk dapat mempercepat reaksi tersebut. Selain itu, hasil hidrolisis dari proses ini tidak mencapai kualitas yang optimal. Persamaan umum reaksi hidrolisis murni adalah sebagai berikut:



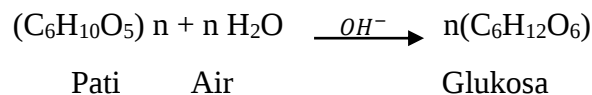
b. Hidrolisis Asam

Dalam hidrolisis menggunakan asam, asam berperan sebagai katalisator untuk mengaktifkan air dari kadar asam yang cair. Biasanya asam yang dapat digunakan pada proses ini yaitu H_2SO_4 dan HCl . Persamaan umum reaksi hidrolisis asam adalah sebagai berikut:



c. Hidrolisis Basa

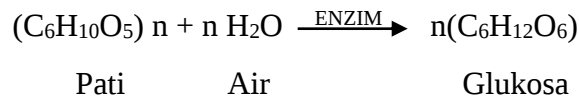
Basa yang dapat digunakan pada hidrolisis ini dapat berupa basa cair, basa pekat dan basa padat. Reaksi dalam bentuk basa padat serupa dengan reaksi dalam bentuk cair, hanya saja reaksi tersebut berlangsung lebih reaktif. Penggunaan basa padat biasanya diarahkan untuk tujuan tertentu, misalnya seperti peleburan *benzene* menjadi *phenol*. Persamaan umum reaksi hidrolisis basa adalah sebagai berikut:



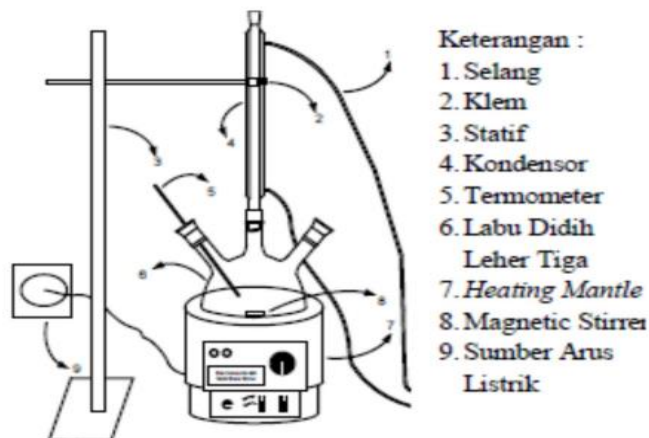
d. Hidrolisis Enzim

Hidrolisis dengan enzim adalah proses yang menggunakan enzim sebagai zat pemecah polimer menjadi monomer – monomer penyusunnya dengan bantuan enzim. Enzim *amylase* adalah enzim yang mampu menurunkan energi aktivasi sehingga dapat mempercepat pemecahan rantai polimer

polisakarida menjadi monomer gula penyusunnya. Persamaan umum reaksi hidrolisis enzim adalah sebagai berikut:



Pada tahap hidrolisis, biasanya alat yang digunakan adalah alat hidrolisa seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Alat Hidrolisis (Miranda dkk., 2014)

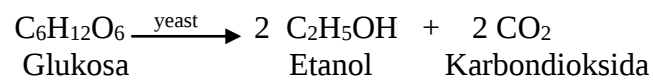
Menurut Osvaldo dkk. (2012), faktor-faktor yang mempengaruhi hidrolisis yaitu:

- 1) Kandungan karbohidrat bahan baku
Apabila kandungan karbohidratnya sedikit maka jumlah gula yang terjadi juga sedikit dan sebaliknya.
- 2) pH Hidrolisis
Hubungan pH erat dengan konsentrasi asam yang digunakan, umumnya tingkat pH yang optimum berada pada angka 2,3.
- 3) Waktu Hidrolisis
Semakin lama pemanasan akan menyebabkan warna semakin keruh dan semakin besar konversi yang dihasilkan. Waktu yang dibutuhkan untuk proses hidrolisis asam berkisar antara 1 hingga 3 jam.
- 4) Suhu
Suhu berpengaruh terhadap reaksi pada proses hidrolisis. Semakin tinggi suhu maka akan diperoleh konversi yang cukup berarti namun jika suhu terlalu

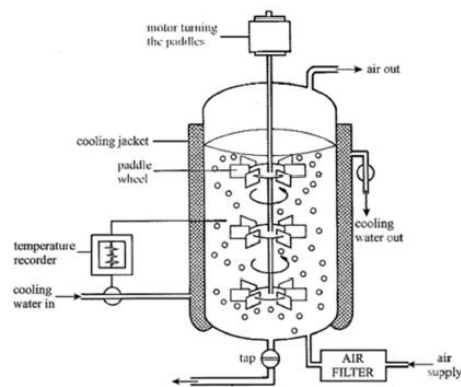
tinggi konversi akan menurun.

2. Proses Fermentasi

Fermentasi adalah proses dimana gula diubah menjadi etanol dan karbon dioksida dalam kondisi anaerob atau aerob dengan bantuan mikroorganisme. Fermentasi yang menggunakan yeast, misalnya *Sacharomyces cereviseae* dapat menghasilkan etil alkohol (etanol) dan CO₂ melalui reaksi:



Pada proses fermentasi biasanya menggunakan alat fermentor seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat Fermentor (Arlianti, 2018)

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah:

- 1) pH (derajat keasaman)
Untuk mencapai pH optimum dapat ditambahkan asam seperti asam tartarat, malat atau sitrat
- 2) Suhu
Temperatur yang optimal untuk *Saccharomyces cerevisiae* berkisar antara 25-30°C dan temperatur maksimal antara 35-47°C.
- 3) Jenis mikroba
Mikroba yang baik adalah mikroba yang dapat tumbuh dengan cepat dan menghasilkan enzim-enzim essensial untuk proses fermentasi.

4) Oksigen

Oksigen diperlukan untuk mikroorganisme yang bersifat aerob sehingga kecukupan oksigen akan mempengaruhi jumlah etanol yang terbentuk.

5) Nutrisi

Mikroorganisme memerlukan nutrisi yang baik agar dapat memperoleh hasil fermentasi yang baik. Nitrogen yang dibutuhkan sebesar 400-1000 gr/1000 L cairan dan Phospat yang dibutuhkan sebesar 400 gr/ 1000 L cairan sedangkan Ammonium Sulfat sebesar 70-400 gr/1000 L cairan (Sari, 2013).

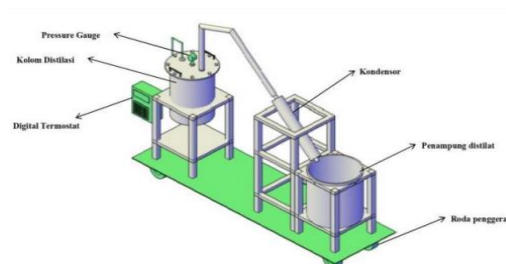
3. Proses Destilasi

Destilasi adalah suatu metode pemisahan larutan berdasarkan perbedaan titik didih. Titik didih etanol murni adalah 78°C. Proses destilasi akan meningkatkan kandungan etanol hingga 95%. Sisa air yang masih ada dihilangkan dengan proses dehidrasi hingga kandungan etanol mencapai 99,5% (Eni dkk., 2015).

Menurut Cahyono (1991), jenis destilasi ada 4 macam. Salah satu jenis destilasi yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol yaitu:

a. Destilasi Sederhana

Dasar pemisahan destilasi sederhana adalah berdasarkan perbedaan sifat volatil suatu komponen. Apabila suatu campuran dipanaskan dan terdapat komponen yang menguap terlebih dahulu maka komponen tersebut yang memiliki titik didih lebih rendah. Destilasi ini dapat digunakan sebagai metode pemisahan antara air dan alkohol pada suatu campuran. Skema alat destilasi sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat Destilasi Sederhana (Ikhwannudin dkk., 2020)

C. Kulit Nanas

Buah nanas (*Ananas comosus L. Merr*) merupakan salah satu jenis buah yang banyak terdapat di Indonesia dan mempunyai penyebaran yang merata. Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia (2018), produksi nanas pada tahun 2017 mencapai 1.795.986 ton dan menempati posisi ke-4 setelah produksi buah pisang, mangga dan jeruk. Limbah yang dihasilkan dari nanas adalah kulit nanas. Kulit nanas memiliki bagian-bagian sisik yang melingkar ke atas dan membentuk ujung runcing, pendek dan berwarna hijau keabu-abuan (Ardiansyah, 2010). Berikut ini foto dari kulit nanas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kulit Nanas

Industri pengolahan nanas tiap jam dapat mengolah buah nanas segar sebanyak 30 ton dan menghasilkan limbah sebanyak 50-65% atau sebesar 15-19,5 ton limbah (Biro Pusat Statistik, 2013). Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam industri pengolahan nanas adalah adanya limbah kulit nanas yang semakin meningkat. Akan tetapi, limbah kulit nanas kebanyakan masih belum dapat dimanfaatkan secara baik, dan hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak saja (Susanti dkk., 2013).

Limbah kulit nanas biasanya dibiarkan menjadi sampah dan dibuang begitu saja sehingga menjadi tumpukan limbah. Hal ini apabila limbah kulit nanas belum dapat dimanfaatkan dengan baik, maka dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan (Rosyidah, 2010). Kondisi tersebut dapat mengakibatkan lingkungan sekitar terganggu.

Kulit nanas merupakan bahan organik yang dapat dijadikan alternatif bahan penghasil energi baru. Kandungan gizi kulit nanas disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan gizi kulit nanas

Kandungan gizi	Jumlah (%)
Karbohidrat	17,53
Protein	4,41
Gula reduksi	13,65
Kadar air	81,72
Serat kasar	20,87

Sumber: Wijana., 1991

Berdasarkan data Tabel 1, kulit nanas mengandung gula dan karbohidrat yang cukup tinggi. Dengan memanfaatkan kandungan tersebut melalui proses fermentasi, kulit nanas dapat dijadikan sebagai bahan baku bioetanol. Limbah kering kulit nanas mengandung bioetanol 95,66% (Wandono dkk., 2020).

D. Metode *Simultaneous Saccharification and Fermentation*

Teknologi yang dapat digunakan dalam proses pembuatan bioetanol salah satunya adalah *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (Astolfi *et al.*, 2019). *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) merupakan metode dimana proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan secara bersamaan dalam satu reaktor (Limahelu dkk., 2021). Proses SSF melibatkan proses hidrolisis simultan selulosa menjadi glukosa dengan konversi langsung menjadi etanol oleh bantuan mikroba (Chohan *et al.*, 2020). Sebagai perbandingan, metode SSF dapat menghasilkan etanol 40% lebih banyak daripada metode SHF (Rifa'i dkk., 2019).

Simultaneous Saccharification and Fermentation merupakan cara yang baik untuk mengubah berbagai jenis bahan nabati dan limbah pertanian menjadi senyawa yang bermanfaat dari limbah tersebut (Anigboro *et al.*, 2022). SSF juga termasuk metode ekonomis dikarenakan menggunakan limbah lignoselulosa, seperti batang padi (Risdianto *et al.* 2012), kulit nanas (Chenthamarakshan *et al.* 2017) dan serbuk gergaji (Gonzales *et al.* 2013), sebagai substrat.

Menurut Lin dan Tanaka, (2006) kelebihan *Simultaneous Saccharification and Fermentation* (SSF) pada pembuatan bioetanol adalah:

1. Waktu yang lebih singkat

Proses SSF dapat mempercepat pembuatan bioetanol karena proses hidrolisis dan fermentasi dilakukan dalam satu reaktor tidak memerlukan waktu pemindahan dan persiapan yang lebih lama dibandingkan dengan proses yang terpisah.

2. Proses lebih murah

SSF dapat mengurangi biaya operasional karena proses hidrolisis dan fermentasi berlangsung dalam satu tahap sehingga mengurangi kebutuhan reaktor dan peralatan lain.

3. Berkurangnya hambatan umpan balik

Dalam proses SSF, hidrolisis (pemecahan) karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana dan fermentasi (pembuatan bioetanol) berlangsung secara bersamaan. Hal ini mengurangi kemungkinan gula yang dihasilkan dari hidrolisis terakumulasi dan menghambat aktivitas mikroorganisme yang melakukan fermentasi.

4. Meningkatkan produktivitas

SSF dapat meningkatkan produktivitas karena tidak ada hambatan umpan balik, pemanfaatan gula langsung dan waktu proses yang lebih singkat. Hal ini menghasilkan lebih banyak bioetanol dalam periode waktu yang sama dan dapat meningkatkan hasil rendemen etanol yang lebih tinggi.

E. Alat Praktikum

Salah satu media pembelajaran visual yang dapat digunakan yaitu alat praktikum sederhana (Huriawati dan Yusro, 2016). Alat praktikum merupakan sarana penting yang dapat digunakan dalam kegiatan praktikum untuk mempermudah proses pembelajaran. Alat praktikum dapat juga disebut sebagai Alat Peraga Praktik (APP). Pengembangan alat praktikum bertujuan agar kegiatan praktikum tetap dapat terlaksana. Menurut Tim Penyusun (2011), pentingnya pengembangan APP IPA sederhana dapat dijadikan sebagai alternatif peralatan laboratorium sehingga dapat meningkatkan kreativitas guru dan siswa sebagai upaya meragamkan sumber belajar

siswa, agar siswa dapat membangun pengetahuannya dan siswa dapat mencapai capaian pembelajaran yang ada dalam kurikulum.

Pengembangan APP IPA sederhana menurut Tim Penyusun (2011) dapat dibuat dalam dua bentuk yaitu sebagai berikut:

1. Padanan alat, yaitu alat yang dibuat dengan mengacu pada contoh alat yang sudah ada (alat praktik, alat peraga, alat pendukung) di laboratorium IPA.
2. Prototip, yaitu alat baru yang sebelumnya tidak ada atau dapat merupakan pengembangan dari alat yang sudah ada, pernah ada yang dibuat, namun kemudian dimodifikasi.

Menurut Tim Penyusun (2011) setidaknya ada 12 kriteria dalam pembuatan APP IPA yang akan dilakukan, kriteria tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Bahan mudah diperoleh.
2. Mudah dalam perancangan dan pembuatannya.
3. Mudah dalam perakitan (tidak memerlukan keterampilan khusus).
4. Mudah dioperasikan ketika akan digunakan.
5. Dapat menunjukkan konsep dengan lebih jelas.
6. Dapat meningkatkan motivasi peserta didik.
7. Akurasi cukup bisa diandalkan.
8. Tidak berbahaya ketika digunakan.
9. Menarik.
10. Daya tahan alat cukup baik.
11. Inovatif dan kreatif.
12. Bernilai pendidikan.

F. Penelitian Relevan

Pengembangan alat pembuatan bioetanol telah banyak dilakukan diantaranya yaitu oleh Al Akbar dkk. (2023) melakukan pengembangan alat pembuatan bioetanol. Alat yang dihasilkan alat destilasi yang terdiri dari tabung pemanas, pipa destilasi dan dua variasi kondensor berbentuk spiral dari pipa tembaga berdiameter 9.5 mm dan

diameter 8 dengan panjang tembaga 2 m dengan geometri lilitan spiral pipa tembaga 74,5 mm. Bagian tabung pemanas terbuat dari *stainless steel*. Tabung pemanas berbentuk tabung dengan kapasitas volume 4 liter. Tabung pemanas terbuat dari panci *stainless steel*. Kondensor berbahan besi plat tabung memiliki diameter 11 mm dan panjang 360 mm.

- a) Kelebihan dari pengembangan alat ini yaitu sudah berbentuk KIT sehingga apabila ingin digunakan tidak diperlukan untuk merakit alat. Daya tahan alat pun baik karena terbuat dari *stainless steel* yang bisa tahan dengan panas dan tidak berkarat.
- b) Kelemahan dari alat ini yaitu menggunakan alat yang berskala besar, alat yang digunakan juga sangat rumit untuk dibuat dan harus memiliki keahlian khusus dalam pengoperasiannya. Pada pengujian alat ini membutuhkan waktu yang lama karena dilakukan sebanyak 2 kali dengan variasi kondensor. Pada pengembangan ini juga hanya dilakukan pengembangan alat destilasinya saja tidak untuk alat hidrolisa dan fermentor.

Berikut alat hasil pengembangan yang dilakukan oleh Akbar dkk. (2023) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat destilasi Akbar dkk, (2023)

Kemudian Ernita dan Zola (2016) mengembangkan alat penghasil bioetanol yaitu alat destilasi. Destilator terdiri dari tangki destilasi, tungku pemanas, tangki air pendingin (kondensor), pipa aliran uap dan pipa keluaran. Bahan tangki destilasi terbuat dari

stainless steel dengan tebal 2 mm. Tangki air pendingin terbuat dari drum besi berbentuk tabung berdiameter 60 cm dengan volume 200 liter yang dilengkapi dengan koil dan *valve* keluarnya produk dan air buangan,

- a) Kelebihan dari pengembangan alat ini yaitu daya tahan alat yang baik karena terbuat dari bahan *stainless steel* yang tahan dengan panas dan kokoh. Alat yang dibuat dengan lebih sederhana. Pada alat ini ketika di uji coba menghasilkan tingkat kemurnian etanol sebesar 63,4% yang berarti sudah cukup baik untuk skala industri.
- b) Kelemahannya yaitu alat yang dirancang berskala besar sehingga membutuhkan tempat yang luas. Pada tangki destilasi tidak disertai dengan pengukur suhu. Alat yang dirancang juga tidak berbentuk KIT.

Berikut alat hasil pengembangan yang dilakukan oleh Ernita dan Zola (2016) yang terdiri dari (a) tangki destilasi yang disertai dengan tungku pemanas (b) tangki air pendingin dan (c) serangkaian alat destilasi yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 7.



(a)



(b)



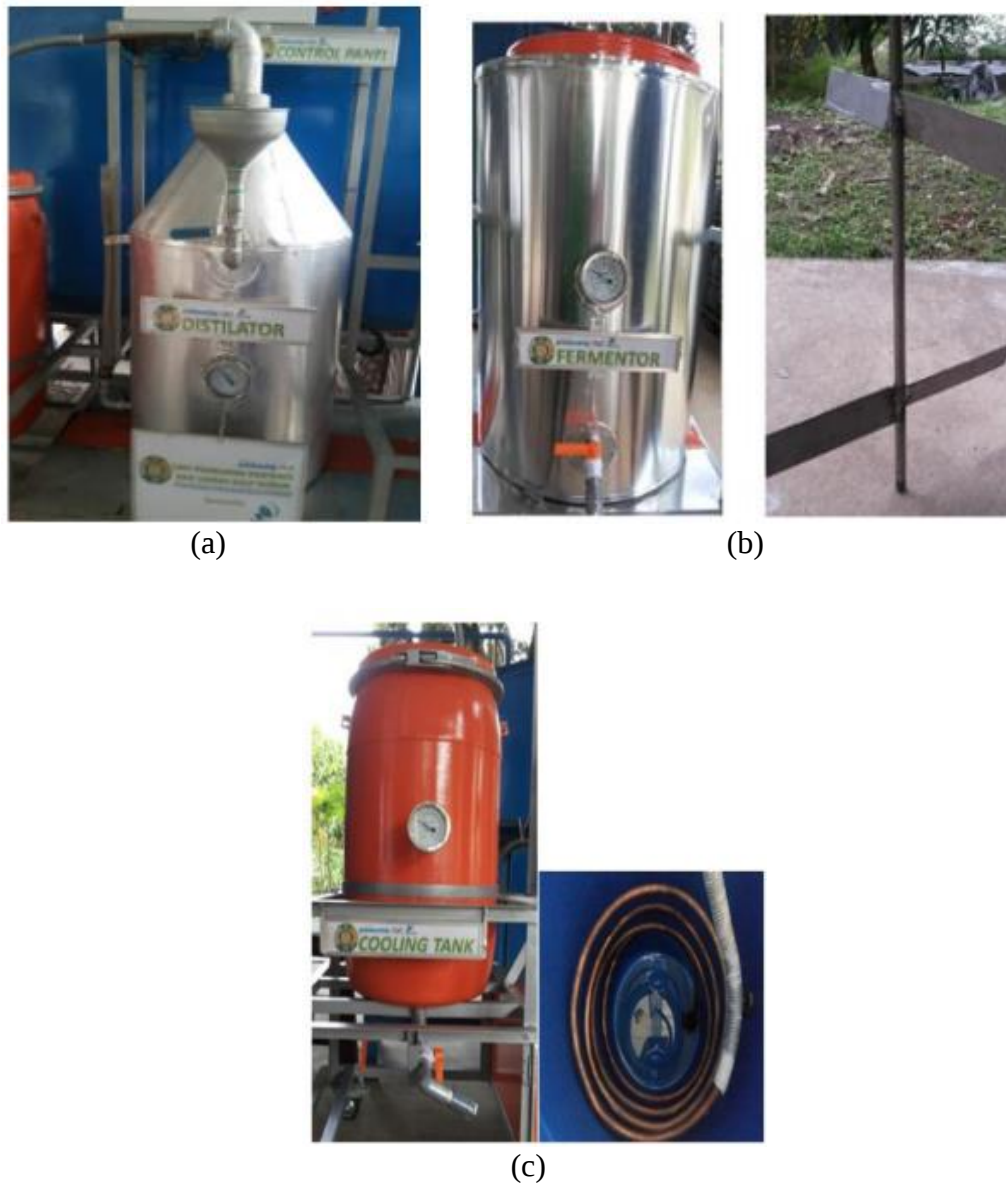
(c)

Gambar 7. Alat pembuatan bioetanol Ernita dan Zola (2016)

Trisakti dkk. (2015) mengembangkan alat pembuatan bioetanol berupa alat fermentor dan tangki destilasi yang berkapasitas 100 liter. Pada fermentor dilengkapi dengan pengaduk *paddle* dan tangki destilasi dilengkapi dengan *heater* sebagai pemanas dan tangki air pendingin. Tangki fermentor berdiameter 43 cm dan tinggi 86 cm dengan panjang pengaduk 30 cm. Tangki destilasi berdiameter 48 cm dan tinggi 54 cm berbahan *stainless steel* berbentuk silinder dan tutup kerucut. Tangki air pendingin terbuat dari drum plastik berbentuk tabung dengan volume 70 liter dengan diameter tangki 37 cm dan tinggi 66 cm.

- a) Kelebihan dari pengembangan alat ini yaitu terbuat dari bahan-bahan yang memiliki daya tahan panas yang cukup baik. Pada tangki destilasi sudah dilengkapi dengan termometer, termokopel, level indikator dan kontrol panel dan alat fermentor dilengkapi juga termometer. Pada tangki destilasi juga dilengkapi dengan jaket berupa alumunium untuk mencegah penurunan suhu secara drastis apabila terjadi pemadaman listrik. Kadar etanol yang dihasilkan pada alat ini yaitu sebesar 74, 96% dengan suhu 80°C.
- b) Kelemahan dari alat ini yaitu menggunakan alat yang membutuhkan biaya sangat mahal, alat yang digunakan berskala besar dan sulit untuk membuatnya.

Berikut alat hasil pengembangan yang dilakukan oleh Trisakti dkk (2015) terdiri dari (a) tangki destilasi dilengkapi dengan *heater*, (b) fermentor dilengkapi dengan pengaduk *paddle* (c) tangki air pendingin dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Alat pembuatan bioetanol Trisakti dkk. (2015)

Selanjutnya Wandono dkk. (2020) telah melakukan pengembangan alat penghasil bioetanol dengan menggunakan peralatan rumah tangga seperti menggunakan wajan sebagai alat hidrolisa dan kompor sebagai pemanas, galon bekas sebagai fermentor serta destilasi bertingkat sebagai alat destilasi. Metode yang digunakan yaitu hidrolisis dan fermentasi secara terpisah.

- a) kelebihan pada pengembangan alat ini yaitu sudah dimodifikasi dengan alat yang berskala rumah tangga sehingga alat mudah diperoleh dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Alat juga mudah dalam membuat serta merancangnya.
- b) kelemahan dari alat ini yaitu tidak berbentuk KIT. Pemanas yang digunakan juga menggunakan kompor yang berukuran besar.

Berikut adalah alat hasil pengembangan yang dilakukan oleh Wandono dkk (2020) yang terdiri dari a) wajan dan kompor sebagai alat hidrolisa, (b) galon sebagai fermentor, dan (c) serangkaian alat destilasi bertingkat dapat dilihat pada Gambar 9.

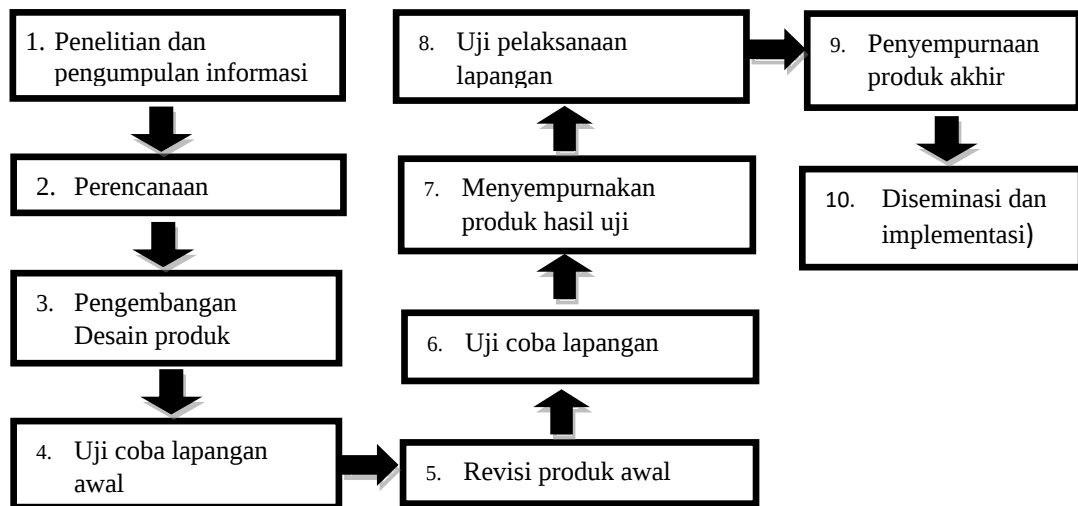


Gambar 9. Alat pembuatan bioetanol Wandono dkk. (2020)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yakni menggunakan metode penelitian dan pengembangan, yang dikenal sebagai *Research and Development* (R&D) dengan mendasarkan pada model Borg and Gall (1983). Menurut Borg dan Gall (1983) dalam penelitian dan pengembangannya terdapat sepuluh tahapan pada Gambar 10.

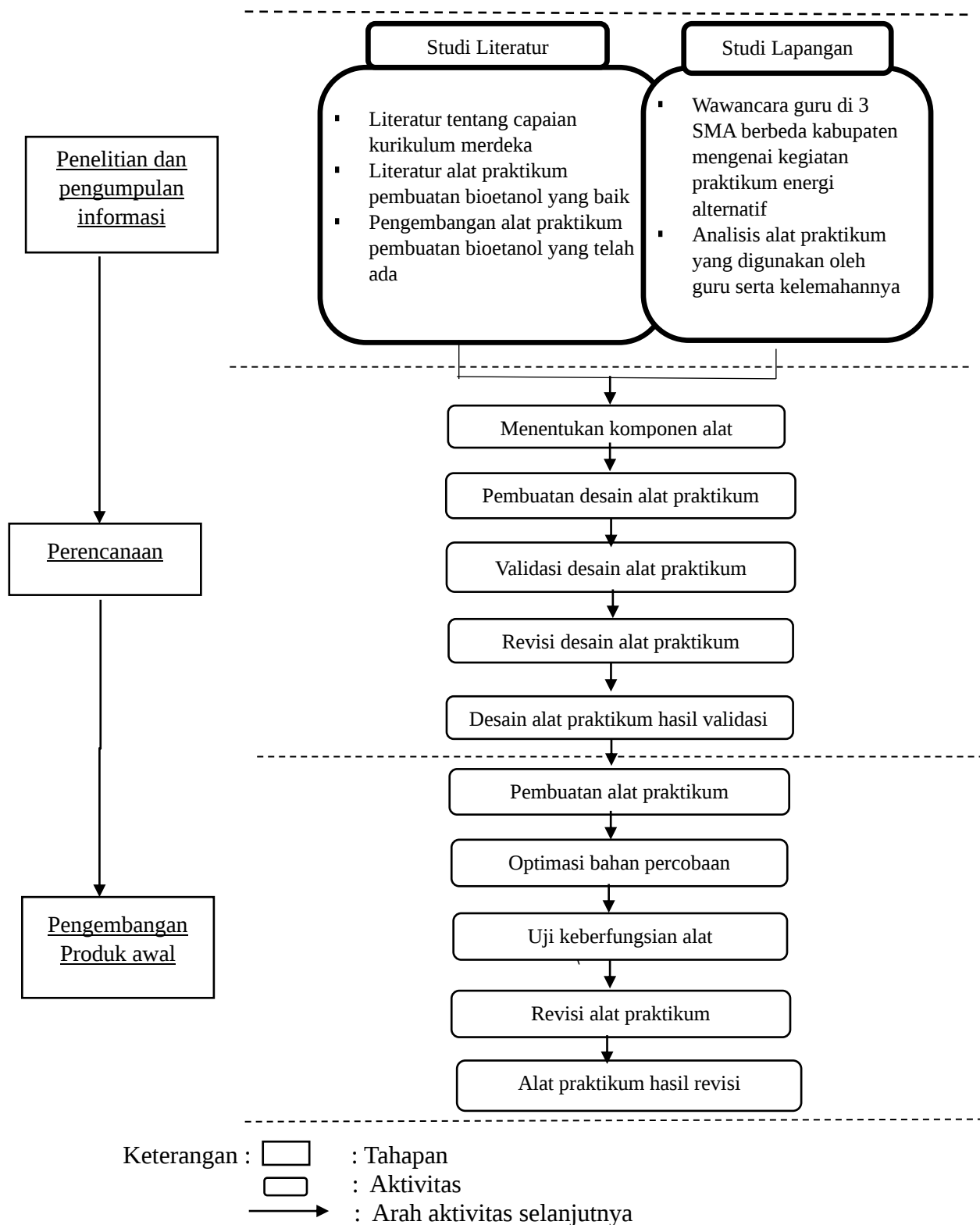


Gambar 10. Langkah-langkah pengembangan menurut Borg & Gall, 1983

Pada penelitian ini hanya dilaksanakan sampai tahap ketiga yaitu pengembangan produk awal. Hal ini disebabkan karena keterbatasan waktu untuk melaksanakan tahap-tahap selanjutnya.

B. Alur Penelitian

Alur penelitian dan pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF dapat dilihat pada Gambar 11 sebagai berikut:



Gambar 11. Alur penelitian dan pengembangan alat praktikum

Adapun langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Penelitian dan Pengumpulan Informasi

Penelitian dan pengumpulan informasi berguna dalam mendapatkan informasi awal dalam melakukan proses pengembangan. Tahapan ini meliputi:

a. Studi Literatur

Studi literatur ditunjukkan untuk menemukan konsep-konsep atau teori yang berkaitan dengan produk yang akan dikembangkan. Pada studi literatur peneliti mencari informasi melalui buku dan jurnal mengenai capaian pembelajaran kimia kurikulum merdeka, mengatasi kelangkaan energi, energi alternatif bioetanol, kriteria alat praktikum pembuatan bioetanol yang baik serta kelebihan dan kekurangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari peneliti terdahulu.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan dilaksanakan di tiga sekolah yaitu SMA Negeri 1 Gedong Tataan, SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar. Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kegiatan pembelajaran di sekolah terkait capaian pembelajaran pada kurikulum merdeka, seberapa jauh upaya guru dalam memperkenalkan siswa tentang isu global terkait kelangkaan energi, ketersediaan alat praktikum serta kendala yang dihadapi saat menggunakan alat tersebut. Studi lapangan dilakukan dengan wawancara terhadap guru kimia di setiap sekolah.

2. Perencanaan

Tahap perencanaan ini dilakukan perancangan awal produk. Tahapan perencanaan meliputi: pembuatan desain, menentukan komponen alat, dan validasi desain.

a. Pembuatan desain

Desain alat praktikum adalah hasil rancangan awal dari alat yang akan dikembangkan. Tujuan pembuatan desain adalah untuk memberikan gambaran awal terhadap alat sehingga dalam proses pembuatan alat akan menjadi lebih

mudah. Bahan-bahan yang ditentukan sudah memenuhi aspek-aspek yang akan dicapai. Alat yang dikembangkan di desain dengan menggunakan canva.

b. Menentukan komponen alat

Setelah membuat desain awal selanjutnya dilakukan penentuan komponen yang akan digunakan dalam pengembangan alat. Alat praktikum pembuatan bioetanol yang akan dibuat merupakan pengembangan dari Trisakti, dkk (2019). Dimana alat yang dikembangkan tidak bisa digunakan di sekolah karena berskala besar. Oleh karena itu peneliti mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol berskala laboratorium dan berbentuk KIT. Alat praktikum yang dikembangkan terdiri dari 1) panci *stainless steel* sebagai alat hidrolisis, fermentor dan tabung reaktor pada tahap destilasi, 2) botol bigcola sebagai kondensor, 3) kompor listrik sebagai pemanas, 4) termometer alkohol sebagai pengukur suhu, 5) selang tempat mengalirnya uap, 6) selang input, 7) selang output, 8) toples sebagai penampung air es, 9) power head, 10) botol kaca sebagai penampung destilat, 11) terminal listrik, 12) cawan sebagai tempat uji nyala api.

Pada tahap pemilihan komponen dilakukan pencarian informasi terkait bahan yang dapat digunakan untuk membuat alat praktikum pembuatan bioetanol. Ukuran alat yang dikembangkan juga berskala laboratorium. Bahan yang digunakan dalam pengembangan alat ini yaitu bahan yang mudah diperoleh, biaya yang terjangkau, tidak berbahaya, ketahanan bahan tersebut terhadap panas, serta memenuhi syarat laboratorium sekolah. Pengembangan alat praktikum bertujuan agar dapat digunakan siswa dalam melakukan praktikum penghasil energi alternatif berupa bioetanol.

c. Validasi desain

Hasil desain alat praktikum pembuatan bioetanol yang telah dibuat kemudian divalidasi oleh tiga validator yaitu dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Aspek yang dievaluasi dari desain yaitu menggunakan komponen mudah diperoleh, biaya relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya

tahan baik, inovatif dan kreatif. Desain alat dinyatakan tervalidasi apabila berkriteria cukup valid dan telah direvisi sesuai dengan saran dari validator. Kemudian tahap selanjutnya yaitu pembuatan alat.

3. Pengembangan produk Awal

a. Pembuatan alat praktikum

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF. Alat yang dibuat disesuaikan dengan hasil desain yang telah tervalidasi. Penyesuaian ini meliputi bahan, bentuk alat dan komponen alat.

b. Optimasi bahan percobaan

Pada tahap ini dilakukannya optimasi bahan untuk melakukan uji coba. Dilakukannya optimasi bahan agar didapatkan bioetanol sehingga dapat mengetahui keberfungsian dari alat yang dikembangkan. Optimasi yang digunakan dalam perbandingan massa antara kulit nanas dan air 1:1 yaitu 250 gram kulit nanas dan 250 ml air.

Selanjutnya dilakukan optimasi jenis zat tambahan pada proses hidrolisis. Variasi yang digunakan yaitu hidrolisis murni, hidrolisis asam dengan penambahan katalis HCL dan asam cuka. Kemudian optimasi jenis zat tambahan pada proses fermentasi, variasi yang digunakan yaitu ragi tape, pupuk NPK dan urea. Zat tambahan yang digunakan pada proses hidrolisis dan fermentasi nantinya akan dipilih berdasarkan hasil percobaan zat mana yang akan menghasilkan gas.

Pada tahap ini peneliti melakukan uji keberfungsian tiap komponen pada alat praktikum pembuatan bioetanol. Peneliti melakukan pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan alat yang telah dikembangkan dan didokumentasikan via video. Kemudian peneliti memperlihatkan hasil video kepada tiga validator yaitu dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung yang bertujuan untuk mengetahui keberfungsian alat

praktikum yang dikembangkan serta kelemahan alat praktikum tersebut. Selanjutnya validator mengisi kuesioner keberfungsian alat yang telah diberikan.

d. Revisi alat

setelah dilakukan uji keberfungsian dan diberikan saran oleh validator. Alat praktikum yang dikembangkan tersebut direvisi sesuai dengan tanggapan validator pada kuesioner. Setelah dilakukan revisi pada alat tersebut, maka diperoleh hasil akhir berupa alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF.

C. Subyek dan Lokasi Penelitian

Subyek dalam penelitian ini adalah alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF. Lokasi penelitian pada tahap studi pendahuluan dilakukan di tiga SMA di provinsi lampung yaitu di SMA Negeri 1 Gedong Tataan, SMA Negeri 13 Bandar Lampung, dan SMA Negeri 1 Natar. Pada tahap pengembangan produk awal dilakukan di kotaagung yaitu melakukan percobaan pembuatan bioetanol yang didokumentasikan via video. Kemudian penilaian uji keberfungsian alat dilakukan di FKIP Universitas Lampung.

D. Sumber Data dan Data Penelitian

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari tiga sumber data, yaitu: tahap penelitian dan pengumpulan informasi, tahap perencanaan, dan tahap pengembangan produk awal. Pada tahap penelitian dan pengumpulan informasi sumber data diperoleh dari hasil wawancara guru kimia di SMA Negeri 1 Gedong Tataan, SMA Negeri 13 Bandarlampung, dan SMA Negeri 1 Natar. Responden guru kimia tiap sekolah terbagi atas 2 guru kimia di SMA Negeri 1 Gedong Tataan, 1 guru kimia di SMA Negeri 13 Bandarlampung, 1 guru kimia di SMA Negeri 1 Natar. Kemudian pada tahap perencanaan data diperoleh dari jawaban kuesioner validator terhadap desain alat. Pada tahap pengembangan produk awal diperoleh data jawaban dari validator uji keberfungsian.

E. Instrumen penelitian

Adapun instrumen yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Instrumen pada tahap penelitian dan pengumpulan Informasi

Instrumen yang digunakan berupa pedoman wawancara yang diberikan oleh 4 orang guru kimia dengan tiga sekolah yang berbeda. Kegiatan wawancara yang bertujuan untuk memperoleh informasi tentang pertanyaan seputar keterlaksanaan kurikulum merdeka di lingkungan sekolah, kegiatan proses pembelajarannya, kesiapan pihak sekolah menjalankan kurikulum merdeka dalam meningkatkan kesadaran siswa terkait merespon isu kelangkaan energi untuk mencapai capaian pembelajaran, keterlaksanaan praktikum pembuatan bioetanol, kelemahan alat praktikum, serta kendala yang dihadapi oleh guru dalam melaksanakan praktikum tersebut. Hasil dari instrumen ini dijadikan sebagai pedoman peneliti dalam mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol yang baik.

2. Instrumen pada tahap perencanaan

Instrumen validasi desain alat praktikum yang digunakan dalam penelitian ini berupa kuesioner. Pengisian kuesioner dilakukan pada tiga validator yaitu dua dosen berasal dari Pendidikan Kimia dan satu dosen berasal dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung dengan mengikuti panduan yang telah disediakan dalam kuesioner. Pada kuesioner tersebut terdapat pernyataan yang berkaitan dengan kriteria yang akan digunakan untuk menilai desain alat yang telah dikembangkan yaitu meliputi komponen mudah diperoleh, biaya relatif murah, mudah dirangkai, mudah dioperasikan, komponen yang aman, menarik, daya tahan baik, inovatif dan kreatif.

3. Instrumen Pada Tahap Pengembangan Produk Awal

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa kuesioner yang bertujuan untuk mengetahui keberfungsian dan kelemahan komponen pada alat praktikum yang dikembangkan agar dapat diperbaiki. Pengisian kuesioner dilakukan pada tiga validator yaitu dua dosen berasal dari Pendidikan Kimia dan satu dosen berasal dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung dengan mengikuti panduan

yang telah disediakan dalam kuesioner. Kuesioner terdapat pernyataan mengenai keberfungsian dari tiap komponen alat praktikum pembuatan bioetanol.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini berupa wawancara terstruktur dan pengisian kuesioner. Wawancara dilakukan dengan menyiapkan daftar pertanyaan secara sistematis terlebih dahulu, agar pengumpulan informasi berlangsung secara terarah. Kuesioner yang disebarakan berisi pernyataan terbuka/tertutup dan diberikan kepada responden secara langsung. Kemudian responden diminta untuk mengisi kuesioner tersebut.

G. Teknik Analisis Data

Adapun analisis data yang dilakukan dari hasil jawaban kuesioner validasi desain alat dan uji coba keberfungsian dilakukan dengan cara berikut:

- a. Memberikan skor jawaban responden. Penskoran yang dilakukan menggunakan skala *Likert-5* (Sugiyono, 2012).

Tabel 2. Penskoran pada kuesioner berdasarkan skala *Likert-5*.

No.	Pilihan Jawaban	Skor
1	Sangat setuju	5
2	Setuju (S)	4
3	Kurang Setuju (KS)	3
4	Tidak Setuju (TS)	2
5	Sangat Tidak Setuju (STS)	1

- b. Mengolah jumlah skor jawaban responden

Pengolahan jumlah skor ($\sum S$) jawaban angket adalah:

1. Skor untuk pernyataan Sangat Setuju (SS)
 $S_1 = 5 \times \text{jumlah responden}$
2. Skor untuk pernyataan Setuju (S)
 $S_2 = 4 \times \text{jumlah responden}$
3. Skor untuk pernyataan Kurang Setuju (KS)
 $S_3 = 3 \times \text{jumlah responden}$
4. Skor untuk pernyataan Tidak Setuju (TS)
 $S_4 = 2 \times \text{jumlah responden}$

5. Skor untuk pernyataan Sangat Tidak Setuju (STS)
 $S_5 = 1 \times \text{jumlah responden}$

- c. Menghitung jumlah skor jawaban kuesioner dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sum S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$$

Keterangan:

$\sum S$ = jumlah skor jawaban

S_{12345} = jumlah skor untuk jawaban -i

- d. Menghitung persentase jawaban dari setiap item pada kuesioner dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%X_{in} = \frac{\sum S}{S_{maks}} \times 100 \%$$

Keterangan:

$\%X_{in}$ = Persentase jawaban kuesioner-i

$\sum S$ = Jumlah skor jawaban

S_{maks} = Skor maksimum (Sudjana, 2005)

- e. Menghitung rata-rata persentase hasil skor kuesioner untuk mengetahui setiap aspek yang ingin dicapai dari alat yang dikembangkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\% \bar{X}_i = \frac{\sum \%X_{in}}{n}$$

Keterangan:

$\% \bar{X}_i$ = Rata-rata persentase kuesioner

$\sum \%X_{in}$ = jumlah persentase kuesioner pada setiap aspek

n = jumlah aspek (Sudjana, 2005)

- f. Menafsirkan hasil persentase jawaban kuesioner secara keseluruhan dengan menggunakan tafsiran yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tafsiran Skor (Persentase) Kuesioner

Persentase	Kriteria
80,1% - 100%	Sangat Tinggi
60,1% - 80%	Tinggi
40,1% - 60%	Sedang
20,1% - 40%	Rendah
0,0% - 20%	Sangat Rendah

(Arikunto, 2010)

- g. Menafsirkan kriteria validasi analisis persentase produk hasil validasi ahli dengan menggunakan tafsiran seperti Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Kriteria validasi

Persentase	Tingkat kevalidan	Keterangan
76% - 100%	Valid	Layak/ tidak perlu revisi
51% - 75%	Cukup valid	Cukup layak/revisi sebagian
26% - 50%	Kurang Valid	Kurang layak/revisi sebagian
< 26%	Tidak Valid	Tidak layak/revisi total

(Arikunto, 2010)

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF yang telah dikembangkan memiliki karakteristik yaitu alat sudah berbentuk KIT yang terdiri dari alat hidrolisis, fermentor dan serangkaian alat destilasi.
2. Alat praktikum yang dikembangkan telah memenuhi syarat didaktik, kontruksi dan teknis. Dimana alat praktikum pembuatan bioetanol ini dapat mendukung capaian pembelajaran secara efektif, dapat mempermudah peserta didik untuk memahami konsep pembelajaran, alat yang dikembangkan terbuat dari bahan yang kuat dan aman serta alat dapat berfungsi dengan baik dan mudah dioperasikan sehingga dapat digunakan untuk pelaksanaan praktikum.
3. Hasil validasi desain alat berdasarkan pengisian kuesioner oleh validator ahli diperoleh hasil sebesar 86,66% dengan kriteria sangat tinggi dan layak untuk dikembangkan.
4. Hasil uji keberfungsian alat berdasarkan pengisian kuesioner oleh validator ahli diperoleh hasil sebesar 87,33% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga dapat disimpulkan bahwa alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode SSF yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik dan layak untuk digunakan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disarankan agar:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengukur kadar bioetanol yang diperoleh dengan menggunakan *Gas Chromatography* untuk mendapatkan nilai yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait variasi jenis katalis, jumlah ragi dan lama waktu fermentasi agar mendapatkan kadar etanol yang lebih tinggi.
3. Perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut pada alat praktikum pembuatan bioetanol dengan metode SSF yang sudah dikembangkan sehingga menghasilkan bioetanol yang lebih berkualitas.
4. Perlu dilakukan tahap penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan pengembangan alat karena pada penelitian ini hanya dilakukan sampai tahap pengembangan produk awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahams, I. dan R. Millar. (2008). Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practicalwork as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*. 30 (14), 1945-1969.
- Al Akbar, M. L., Wati, D. A. R., Pramitasari, R. E., & Rosadi, M. M. (2023). Pengembangan Alat Destilasi Bioetanol Limbah Ampas Tahu: Pengembangan Alat Destilasi Bioetanol Limbah Ampas Tahu. *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, dan Energi Terbarukan)*, 1(2), 14-20.
- Al Bahij, A., Nadiroh, N., Rahmayani, H., & Sihadi, S. (2019). Strategi Literasi Energi Dalam Membentuk Perilaku Hemat Energi Pada Anak Usia Sekolah Dasar: Energy Literation Strategy Forming Energy Saving Behavior In Children's Age. *Tunas: Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 5(1), 7-13.
- Amine, M & Barakat, Y. (2019). Properties Of Gasoline Ethanol Methanol Ternary Fuel Blend Compared With Ethanol-Gasoline and Methanol Gasoline Fuel Blends. *Egyptian Journal of Petroleum*, 28(4), 371-376.
- Anigboro A. A., Egbune E. O., Akeghware O., Evie P., Samofordu A. A. and Tonukari N. (2022). Biochemical parameters of solid-state fermented cocoyam (*Colocasia esculenta*) using *Rhizopus oligosporus* at different inoculum sizes. *Nigeria Journal of Biotechnology*, 39(1), 68-74.
- Ardiansyah, Roely. (2010). *Budidaya Nanas Surabaya*: PT Temprina Media Grafika.
- Arikunto, S. (2010). *Penilaian program pendidikan*. Edisi III. Jakarta: Bina Aksara.
- Arlianti, L. (2018). Bioetanol Sebagai Sumber Green Energy Alternatif yang Potensial Di Indonesia. *Unistek*, 5(1), 16–22.

- Astolfi, A. L., Rempel, A., Cavanhi, V. A. F., Alves, M., Deamici, K. M., Colla, L. M., & Costa, J. A. V. (2019). Simultaneous Saccharification and Fermentation of *Spirulina* sp. and Corn Starch for The Production of Bioethanol and Obtaining Biopeptides with High Antioxidant Activity. *Bioresource Technology*. 301, 1–23.
- Binar, M., Muanah, & Muliatiningsih. (2021). Pengaruh Variasi Bahan Baku Terhadap Kualitas Briket. *Protech Biosystems Journal*, 1(2), 42–50.
- Biro Pusat Statistik. (2013). *Statistik Produksi nanas Impor Indonesia*. Biro Pusat Statistik. Jakarta.
- Borg, W.R & Gall, M.D (1983). *Eucation research: an introduction.4th Edition*. New York: Longman Inc.
- Cahyono, Bambang. (1991). *Segi Praktis dan Metode Pemisahan Senyawa Organik*. Semarang: UNDIP Press.
- Chenthamarakshan, A., Parambayil, N., Miziriya, N., Soumya, P. S., Lakshmi, K., Ramgopal, A., Dileep, A. & Nambisan, P. (2017). Optimization of laccase production from *Marasmiellus palmivorus* LA1 by Taguchi method of Design of experiments. *BMC Biotechnology*, 17(12), 1-10.
- Chohan, N. A., Aruwajoye, G. S., Sukai, S. Y., & Kana, E. B. G. (2020). Valorisation of Potato Peel Wastes for Bioethanol Production using Simultaneous Sacchari Fi Cation and Fermentation: Process Optimization and Kinetic Assessment. *Renewable Energy*. 146, 1031–1040.
- Eni, R., Sari, W., & Moeksin, R. (2015). Pembuatan bioetanol dari air limbah cucian beras menggunakan metode hidrolisis enzimatik dan fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(1), 14-22
- Ernita, Y., & Zola, P. (2016). Pengembangan Alat Produksi Bioetanol Limbah Kulit Ubi Kayu. *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, 20(2), 19-24.
- Fadiawati, N. (2013). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Kesenimbangan Kimia berbasis Representasi Kimia untuk Siswa Kelas XI IPA. *Prosiding Seminar Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*. 197-203.
- Fadiawati, N. dan Diawati, C. (2011). The Problem-Based Learning Model to Increase Student`s Skills in Communication, Classification, and Comprehension of Acid-Base Concepts. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan MIPA*. 39-48. \

- Fadiawati, N. dan Tania, L. (2014). Efektivitas Pendekatan Saintifik dalam Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kreatif Siswa pada Materi Kesetimbangan Kimia. Laporan Penelitian. Bandar Lampung (Tidak Diterbitkan).
- Fessenden and Fessenden. (1982). *Kimia Organik*. PT Erlangga. Jakarta.
- Garnett, P. J., dan Hacking, M. W. (1995). Refocusing the Chemistry Lab: A Casefor Laboratory-Based Investigations. *Australians Science Teachers Journal*. 41, 26Y32.
- Gonzales, J.C., Medina, S.C., Rodriguez, A., Osma, J.F., Almeciga-Diaz, C.J. & Sanchez, O.F. (2013). Production of *Trametes pubescens* laccase under 42 submerged and semi-solid culture conditions on agro-industrial wastes. *PLOS One*, 8(9), e73721.
- Hadi, A. (2009). Upaya Mengatasi Keterbatasan Pelaksanaan Praktikum Kimia di SMA/MA Melalui Pengembangan Alat Peraga Praktikum Kimia Skala Kecil Skripsi Inst. *Teknol. Bandung*.
- Huriawati, F., & Yusro, A. C. (2016). Pengembangan Odd" Osilator Digital Detector" Sebagai Alat Peragapraktikum Gerak Harmonik Sederhana. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*. 2. 1-8.
- Hodson, D. (1990). A Critical Look at Practical Working School Science. *Journal Science Review*, 70 (256), 33-40.
- Hofstein, A. dan Luneta, V. N. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Journal of Science Education*. 88, 28-54.
- Ikhwanudin, A. H., Narendro, M. P., & Widadi, N. (2020). Rancang Bangun Alat Destilasi Sederhana Untuk Memenuhi Kebutuhan Akuades Di Laboratorium Teknologi Rekayasa Pangan. *NaCosVi: Polije Proceedings Series*, 4(1), 284-290.
- Kelvin, K. K., Raditya, M. E., Winata, A. C., Alfarissi, S., & Khairulduha, K. (2024). Alam Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Teknik dan Science*, 3(2), 134-136.
- Kemendikbudristek bskap. (2022). Salinan Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknoloi Nomor 008/H/Kr/2022. In Kemendikbudristek.
- Kurniati, Y., Khasanah, I. E., & Firdaus, K. (2021). Kajian pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas (*Ananas comosus*. L). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2), 95-101.

- Limahelu, F. A., Jasman, J., & Sarifudin, K. (2021). Optimasi Suhu, pH, dan Konsentrasi Inokulum pada Proses Ko-Fermentasi Batang Sorgum Manis (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) dengan Biakan *Saccharomyces cerevisiae*-*Trichoderma reesei*. *Jurnal Beta Kimia*, 1(2), 54-63.
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Applied microbiology and biotechnology*, 69, 627-642.
- Logayah, D. S., Rahmawati, R. P., Hindami, D. Z., & Mustikasari, B. R. (2023). Krisis energi Uni Eropa: Tantangan dan peluang dalam menghadapi pasokan energi yang terbatas. *Hasanuddin Journal of International Affairs*, 3(2), 102-110.
- Miranda, G., Amri, A., & Utami, S. P. (2014). Hidrolisis mikroalga tetraselmis chuii dengan variasi konsentrasi asam sulfat dan temperatur. *Journal FTEKNIK*, Vol.1(2), 1-5.
- Novelia, D., Putra, A. Y., & Sari, Y. (2022). Pemanfaatan Berbagai Macam Limbah Menjadi Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 20(1), 39-46
- Novia, N., Utami, I., & Windiyati, L. (2014). Pembuatan bioetanol dari sekam padi menggunakan kombinasi soaking in aqueous ammonia (SAA) pretreatment–acid pretreatment–olisis–fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), 46-53.
- Osvaldo, Z. S., Putra, P., & Faizal, M. (2012). Pengaruh konsentrasi asam dan waktu pada proses hidrolisis dan fermentasi pembuatan bioetanol dari alang alang. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(2).
- Rachmanto, T., & Mara, I. M. (2022). Pengaruh pH Dan Putaran Pengadukan Pada Fermentasi Molase Terhadap Hasil Akhir Produksi Bioetanol. *Energy, Materials and Product Design*, 1(2), 64-71.
- Rahmayanti, L., Rahmah, D. M., & Larashati, L. (2021). Analisis pemanfaatan sumber daya energi minyak Dan gas bumi di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), 9-16.
- Rifa'i, A. F., Pamungkas, W. A., Setyawati, R. B., Setiawan, C. P., & Waluyo, J. (2022). Kajian teknoekonomi bioetanol berbahan molasses sebagai alternatif substitusi BBM. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), 57-68.
- Risdianto, H., Sofianti, E., Suhardi, S.H. & Setiadi, T. (2012). Optimisation of laccase production using white rot fungi and agriculture wastes in solid state fermentation. *Journal of Engineering Science*, 44(2), 93-105.

- Romadhon, F. D., & Subekti, R. (2023). Analisis Pengaturan Energi Terbarukan Dalam Kendaraan Berbasis Elektrik Untuk Mendukung Perlindungan Lingkungan (Analisis Komparatif Antara Indonesia, Brazil, Dan Pakistan). *Jurnal Pacta Sunt Servanda*, 4(1), 177-190.
- Ruing, A. P. T., & Sulaiman, D. (2022). Analisis karakteristik briket berbahan cangkang kelapa sawit dan sekam padi menggunakan perekat tapioka. *Jurnal Sains Benuanta*, 1(1), 15–24.
- Sari, A. M. (2013). Pembuatan Bioetanol dari Limbah Buah Stroberi (Buah Afkir). *Jurnal Konversi*, 2(2). 9-19
- Seftian, D., Antonius, F., & Faizal, M. (2012). Pembuatan etanol dari kulit pisang menggunakan metode hidrolisis enzimatik dan fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 10-16.
- Stančin, H., Mikulčić, H., Wang, X., & Duić, N. (2020). A review on alternative fuels in future energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128, 1-17.
- Sudjana. N. (2005). *Metode Statistika Edisi Keenam*. Bandung: PT. Tarsito
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kualitatif, kuantitatif, dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Susanti A. D, Prakoso T. P, dan Prabawa H. 2013). “Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas Melalui Hidrolisis Dengan Asam”. *Jurnal Teknik Kimia Fakultas Teknik*. Universitas Sebelas Maret. 12(1), 11-16.
- Tim Penyusun. (2011). *Pedoman Pembuatan Alat Peraga Kimia Sederhana Untuk SMA*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Trisakti, B., Adriani, L., & Revitasari, R. (2015). Rancangan Alat Pembuatan Bioetanol Dari Bahan Baku Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 53-59.
- Wandono. H. E., E. Kusdiyantini, & Hadiyanto. (2020). Efektivitas limbah kulit kering nanas madu (Ananas Comosus L Merr) untuk pembuatan bioetanol dengan proses fermentasi dan distilasi. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(2), 32-41.
- Wijana, S., Kumalaningsih, S., Setyowati, A., Efendi, U., & Hidayat, N. (1991). Optimalisasi penambahan tepung kulit nanas dan proses fermentasi pada pakan ternak terhadap peningkatan kualitas nutrisi. *Agricultural Research Management Project (ARMP) Departemen Pertanian Republik Indonesia*. Universitas Brawijaya. Malang.