

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PEMBUATAN BIOETANOL
DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE *SEPARATED
HYDROLYSIS AND FERMENTATION***

(Skripsi)

**Oleh:
NENGAH ANGGI PUSPA DEWI
NPM 2013023058**



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

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM PEMBUATAN BIOETANOL
DARI LIMBAH KULIT NANAS DENGAN METODE *SEPARATED
HYDROLYSIS AND FERMENTATION***

**Oleh
NENGAH ANGGI PUSPA DEWI
NPM 2013023058**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar
Sarjana Pendidikan**

pada

**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 *SEPARATED HYDROLYSIS AND FERMENTATION*

Oleh

Nengah Anggi Puspa Dewi

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang memenuhi syarat didaktik, syarat konstruksi dan syarat teknis. Alat yang dikembangkan merupakan pengembangan dari alat yang sudah ada sebelumnya kemudian dimodifikasi menjadi alat berskala laboratorium sekolah dan dapat digunakan untuk praktikum kimia di kelas X. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (R&D) menurut Borg and Gall (1989) yang dilakukan sampai tahap ketiga yaitu penelitian dan pengumpulan informasi, perencanaan, dan pengembangan draf awal. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pedoman wawancara dan kuesioner. Sumber data dalam penelitian ini yaitu guru kimia kelas X di SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar, dan SMA Negeri 1 Gedung Tataan, serta dua dosen Pendidikan Kimia dan satu dosen Pendidikan Fisika sebagai validator ahli FKIP Universitas Lampung. Alat praktikum pembuatan bioetanol yang telah dikembangkan memiliki 3 bagian alat yaitu alat hidrolisis, fermentasi, dan destilasi. Hasil validasi desain alat diperoleh persentase keseluruhan sebesar 84,67% menunjukkan desain alat memiliki kriteria sangat tinggi dan valid. Hasil validasi uji keberfungsian alat diperoleh persentase keseluruhan sebesar 86,67% yang menunjukkan keberfungsian alat memiliki kriteria sangat tinggi dan valid. Berdasarkan hasil penelitian, alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* dapat berfungsi dengan baik sehingga layak digunakan sebagai alat praktikum di sekolah.

Kata kunci : alat praktikum pembuatan bioetanol, bioetanol, kulit nanas, metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BIOETHANOL PRACTICAL TOOLS FROM PINEAPPLE SKIN WASTE USING SEPARATED HYDROLYSIS AND FERMENTATION METHOD

By

Nengah Anggi Puspa Dewi

This study aims to develop a bioethanol production laboratory tool from pineapple peel waste using the Separated Hydrolysis and Fermentation method that meets didactic requirements, construction requirements and technical requirements. The tool developed is a development of a previously existing tool which is then modified into a school laboratory scale tool and can be used for chemistry practicums in class X. The research method used is research and development (R&D) according to Borg and Gall (1989) which is carried out up to the third stage, namely research and information collection, planning, and development of the initial draft. The instruments used in this study are interview guidelines and questionnaires. The data sources in this study were chemistry teachers of class X at SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar, and SMA Negeri 1 Gedung Tataan, as well as two lecturers of Chemistry Education and one lecturer of Physics Education as expert validators of the FKIP University of Lampung. The bioethanol production laboratory tool that has been developed has 3 parts of the tool, namely hydrolysis, fermentation, and distillation tools. The results of the tool design validation obtained an overall percentage of 84.67% indicating that the tool design has very high and valid criteria. The results of the validation of the tool's functional test obtained an overall percentage of 86.67% which shows that the tool's functionality has very high and valid criteria. Based on the research results, the bioethanol production practicum tool from pineapple skin waste using the Separated Hydrolysis and Fermentation method can function well so that it is suitable for use as a practicum tool in schools.

Key words: bioethanol production laboratory equipment, bioethanol, pineapple skin, Separated Hydrolysis and Fermentation method

Judul Skripsi

: **PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM
PEMBUATAN BIOETANOL DARI
LIMBAH KULIT NANAS DENGAN
METODE *SEPARATED HYDROLYSIS
AND FERMENTATION***

Nama Mahasiswa

: **Nengah Anggi Puspa Dewi**

Nomer Pokok Mahasiswa

: 2013023058

Program Studi

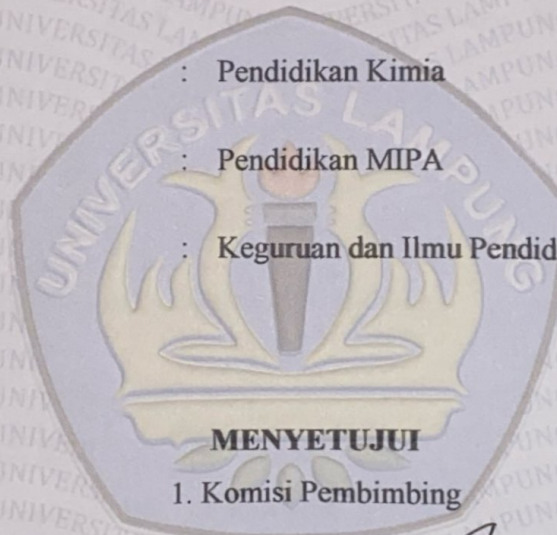
: Pendidikan Kimia

Jurusan

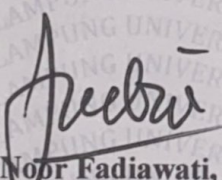
: Pendidikan MIPA

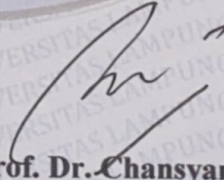
Fakultas

: Keguruan dan Ilmu Pendidikan

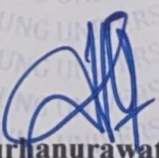


1. Komisi Pembimbing


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. Alhot Maydiantoro, S.Pd., M.Pd.

NIP 19870504 201404 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Juni 2025

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nengah Anggi Puspa Dewi

Nomer Pokok Mahasiswa : 2013023058

Program Studi : Pendidikan Kimia

Jurusan : Pendidikan MIPA

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi.

Sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan di dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata di kemudian hari terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya.

Bandarlampung, 11 Juni 2025

Yang menyatakan



Nengah Anggi Puspa Dewi
NPM 2013023058

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Semuli Jaya, Lampung Utara pada tanggal 30 Desember 2001, sebagai putri kedua dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak I Nyoman Sucahya dan Ibu Ketut Sunarni. Pendidikan formal diawali pada tahun 2007 di TK Bhakti Angkasa I dan lulus pada tahun 2008. Kemudian pada tahun 2008 melanjutkan Pendidikan di SD Negeri 2 Semuli Jaya dan lulus pada tahun 2014. Selanjutnya melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 1 Abung Semuli pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017, melanjutkan Pendidikan di SMA Negeri 1 Abung Semuli dan lulus pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah mengikuti organisasi Fosmaki sebagai anggota bidang minat dan bakat dan Ikam Lampung Utara sebagai bendahara distrik Universitas Lampung pada tahun 2022 dan pada tahun 2023 pernah menjadi Komdis (Komisi Disiplin) PKKMB UKM Hindu Universitas Lampung.

Pengalaman mengajar dan mengabdikan yang pernah diikuti selama perkuliahan yaitu PLP (Pengenal Lapangan Persekolahan) yang terintegrasi di SMA Negeri 1 Banjir dan KKN (Kuliah Kerja Nyata) di Kampung Bali Sadhar Selatan, Kecamatan Banjir, Kabupaten Waykanan, Lampung pada tahun 2023.

PERSEMBAHAN

Sang Hyang Brahman

Om Avighnam Astu Namoh Siddham, Om Siddhirastu Tad Astu Svaha, Oh Tuhan atas *Asung Kerta Wara Nugraha*-Mu saya menyelesaikan tugas ini hingga ketahap akhir, *Astungkara Tad Swaha*, segala puji syukur kepada-Mu atas pertolongan, karunia, kekuatan, berkat, serta cinta kasih-Mu yang tiada henti untukku hingga kini. Kupersembahkan karya ini sebagai bentuk tanda cinta dan kasihku kepada orang-orang yang paling berharga dalam hidupku.

Kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta (I Nyoman Sucahya dan Ketut Sunarni)

Terimakasih telah membesarkan, mendidik, menemani, mendoakan setiap langkahku serta kasih sayang yang tak terhingga pada putrimu ini. Terimakasih atas perjuangan, dukungan dan kerja keras yang sangat luar biasa yang diberikan, semoga ayah dan ibu selalu dalam lindungan Sang Hyang Widhi Wasa.

Kakak-kakakku Tersayang (I Wayan Edi Nugraha dan Ni Nyoman Febri Tri Wahyuni)

Terimakasih selalu memberikan semangat dan dukungan pada adikmu ini, terimakasih telah memberikan kasih sayang dan senantiasa memberi bantuan, semoga selalu bahagia.

Teruntuk keluargaku, dan seluruh sahabatku tercinta yang senantiasa memberikan motivasi, semangat dan kasih sayangnya.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia berhasil, tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”

(Albert Einstein)

“Sesungguhnya tiada kata terlambat bagi seseorang untuk merubah jalan hidupnya menjadi lebih baik sekalipun”

“Persembahkan berupa ilmu pengetahuan, lebih bermutu daripada persembahkan materi, dalam keseluruhannya semua kerja ini berpusat pada ilmu pengetahuan”

(Bhagavad-gita, IV.33)

“Jangan sengaja pergi agar dicari, jangan sengaja lari agar dikejar, krena berjuang tidak sepercanda itu”

(Sujiwo Tejo)

SANWACANA

Puji syukur kupanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat diselesaikannya skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*” sebagai syarat untuk mencapai gelar sarjana pendidikan di Universitas Lampung.

Penulis menyadari terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Albet Maydiantoro, S.Pd., M.Pd. Dekan FKIP 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 pembahas atas masukan, perbaikan, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi;
4. Ibu Dr. Noor Fadiawati, M. Si., selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, waktu, dan motivasinya dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Ibu Prof. Dr. Chansyanah Diawati, M. Si., selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, waktu, dan motivasinya dalam menyelesaikan skripsi ini;
6. Ibu Dra. Ila Rosilawati, M.Si., Ibu Ni Putu Rahma Agustina, S.Si., M.Si.P., dan Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku dosen validator alat yang telah memberikan penilaian, saran, dan motivasi;
7. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Kimia dan seluruh staf Jurusan Pendidikan MIPA, FKIP Universitas Lampung, atas ilmu yang diberikan;

8. Tim Skripsi (Tuti) terimakasih atas kebersamaan, suka, duka, tawa, tangis, gagal, berhasil yang kita rasakan bersama selama perkuliahan maupun penyusunan skripsi ini;
9. Ashar Wibowo, A.Md., Terima kasih telah selalu ada, mendukung dan berkontribusi banyak dalam penyusunan skripsi ini;
10. Sahabatku (Rosa dan Asni) terimakasih sudah mau menjadi temanku, yang selalu menemaniku, membantuku, menyemangatiku, mendengarkan keluh kesahku, menegurku ketika salah, suka dan dukaku bersamamu takkan bisa dilupakan;
11. Seluruh teman-teman kuliahku, khususnya teman-teman pendidikan kimia 20, yunda-kyay dan adik-adik pendidikan kimia;
12. Semua pihak yang terlibat dalam proses pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan selalu memberkati dan memberikan balasan baik atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat kedepannya, Svaha.

Bandarlampung, 11 Juni 2025
Penulis,

Nengah Anggi Puspa Dewi
NPM 2013023058

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	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Bioetanol.....	6
B. Proses Pembuatan Bioetanol.....	7
C. Nanas	14
D. Alat Praktikum.....	16
E. Metode Separated Hydrolysis and Fermentation.....	18
F. Penelitian yang Relevan.....	18
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
A. Metode Penelitian	23
B. Subjek dan Lokasi Penelitian.....	24
C. Sumber Data dan Data penelitian	24
D. Alur Penelitian	24
E. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	26
F. Teknik Pengumpulan Data.....	28
G. Instrumen Penelitian	29

H. Teknik Analisis Data	30
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
A. Tahap penelitian dan pengumpulan data	34
B. Perencanaan	35
C. Tahap Pengembangan Produk Awal	40
V. SIMPULAN DAN SARAN	50
A. Simpulan	50
B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	
1. Lembar koesioner validasi desain (validator 1)	58
2. Lembar kuesioner validasi desain (validator 2)	61
3. Lembar kuesioner validasi desain (validator 3)	64
4. Rekapitulasi hasil validasi desain alat pembuatan bioetanol	67
5. Buku petunjuk penggunaan alat pembuatan bioetanol	68
6. Buku petunjuk praktikum	75
7. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 1)	78
8. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 2)	82
9. Lembar kuesioner uji keberfungsian (validator 3)	86
10. Rekapitulasi hasil uji keberfungsian alat pembuatan bioetanol	90
11. Pedoman wawancara guru	91

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan kulit nanas.....	16
2. Penskoran kuesioner berdasarkan skala Likert	31
3. Tafsiran persentase skor jawaban kuesioner.	32
4. Kriteria validasi	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Molekul Etanol (Lewis, 2002)	6
2. Alat Hidrolisis (Nurdyastuti, 2006).....	9
3. Kulit nanas (Dinpertan Pangan, 2021)	15
4. Alat hidrolisis	19
5. Alat fermentasi	19
6. Alat destilasi.....	19
7. Kerangka alat destilasi	20
8. Tangki pemanas	20
9. Rangkaian alat destilasi.....	21
10. Alat Distilasi Sederhana Model Kolom	22
11. Tahap-tahap dalam pengembangan menurut Borg dan Gall (1989)	23
12. Alur penelitian dan pengembangan alat pembuatan	25
13. Desain pertama alat pembuatan bioetanol.....	35
14. Desain kedua alat pembuatan bioetanol.	37
15. Desain ketiga alat pembuatan bioetanol.....	38
16. Diagram persentase hasil validasi desain alat pembuatan bioetanol.....	39
17. Desain yang telah divalidasi.....	41
18. Alat yang digunakan untuk uji keberfungsian.	42
19. Proses hidrolisis	45
20. Proses fermentasi.	46
21. Uji nyala api hasil destilasi.	46
22. Diagram persentase hasil uji keberfungsian alat	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar dari sumber fosil masih menjadi sumber utama energi global (Lee et al., 2022). Konsumsi bahan bakar fosil masih cenderung terus meningkat karena seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dunia (Galvin, 2022). Semakin banyak penggunaan energi fosil ini berakibat pada semakin menipisnya sumber energi utama yang tersedia dan akan menjadi masalah bagi masyarakat di seluruh negara, termasuk Indonesia. Menurut Badan Pengkaji dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada buku Outlook Energi Indonesia 2017, untuk komoditas minyak dan gas bumi ini akan habis dalam waktu dekat. Cadangan terbukti minyak bumi Indonesia terus mengalami penurunan dari 5,9 miliar barel pada tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada akhir 2015 dan belum ditemukan cadangan minyak bumi baru sehingga diperkirakan cadangan terbukti minyak bumi Indonesia akan habis dalam kurun waktu 11 tahun. Indonesia juga mengalami penurunan temuan cadangan gas bumi dan diperkirakan gas bumi akan habis dalam kurun waktu 36 tahun. Komoditas batubara yang diperkirakan masih akan bertahan hingga lebih dari 30 tahun pun terindikasi akan berkurang cepat seiring perkembangan Indonesia. Karena ketersediaan bahan bakar fosil tersebut semakin mengalami penurunan, maka dibutuhkan bahan bakar atau energi alternatif lain, sebagai pengganti bahan bakar fosil (Fitria dkk., 2016).

Salah satu upaya mengantisipasi terjadinya krisis bahan bakar dapat dengan menyadarkan masyarakat untuk melakukan penghematan penggunaan bahan bakar dan mengembangkan sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan sumber daya hayati yang ada disekitar dan telah menjadi limbah seperti limbah kulit nanas. Dari upaya yang dilakukan, diharapkan dapat menumbuhkan kesadaran akan krisisnya bahan bakar fosil kepada masyarakat, terutama kepada masyarakat

sejak usia dini yang penerapannya dapat dilakukan melalui bidang pendidikan. Pemerintah telah menerapkan upaya tersebut melalui penerapan kurikulum pendidikan yaitu kurikulum merdeka dimana terdapat capaian pada fase E yang menuntut siswa memiliki keterampilan untuk merespon isu-isu global dan berperan aktif dalam memberikan penyelesaian masalah.

Berdasarkan capaian kurikulum merdeka tersebut, siswa diharapkan dapat mengetahui permasalahan global dan memiliki kesadaran akan perlunya energi alternatif sebagai pengganti sumber energi utama yang akan habis dengan melakukan percobaan yang memanfaatkan limbah guna mendapatkan energi alternatif salah satu contohnya yaitu bioetanol. Namun, untuk melaksanakan praktikum tersebut sekolah mengalami kendala yaitu sekolah tidak memiliki alat praktikum pembuatan bioetanol yang spesifikasinya sesuai untuk lingkungan sekolah. Alat praktikum yang tidak tersedia tersebut disebabkan karena mahalnya harga alat praktikum serta sulit didapatnya alat praktikum sehingga menghambat kegiatan praktikum di sekolah.

Fakta tidak tersedianya alat untuk kegiatan praktikum di sekolah sesuai dengan hasil studi pendahuluan yang diperoleh dari wawancara terhadap guru kimia di tiga SMA di Provinsi Lampung yaitu SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar serta SMA Negeri 1 Gedung Tataan. Berdasarkan hasil wawancara diketahui bahwa seluruh sekolah sudah menerapkan kurikulum merdeka pada kegiatan belajar mengajar, namun guru kimia belum melakukan kegiatan belajar mengajar yang berorientasi pada pembelajaran yang menyadarkan siswa terkait dengan kelangkaan energi melalui kegiatan praktikum, guru hanya memberikan pengetahuan melalui literasi terkait energi alternatif saja. Hal ini dikarenakan di masing-masing sekolah tersebut belum terdapat alat-alat praktikum pembuatan energi alternatif. Selanjutnya untuk pengembangan alat, dari hasil wawancara seluruh guru menyatakan bahwa perlu dilakukannya pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol yang mudah didapatkan, tidak memerlukan biaya yang mahal, mudah digunakan, dan aman saat digunakan.

Telah terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai pengembangan alat pembuatan bioetanol dengan skala besar. Wandono, dkk. (2020) melakukan penelitian pengembangan alat pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* menggunakan panci, kompor, galon air mineral berukuran 19 liter yang dilengkapi dengan alkohol meter, serta rangkaian destilasi sederhana pada proses pemurnian. Pada tahun 2023, Al Akbar, dkk. juga melakukan penelitian pengembangan alat pembuatan bioetanol yang berfokus pada pengembangan alat destilasi model sederhana menggunakan dua variasi kondensor serta tangki pemanas berbahan *stainless steel*. Penelitian lain dilakukan oleh Ernita dan Zola (2016) yang melakukan penelitian pengembangan alat pembuatan bioetanol yang berfokus pada pengembangan alat destilasi dengan skala besar menggunakan drum besi dan drum plastik dengan volume 200 liter, pipa besi, tabung *stainless steel* dengan tebal 2 mm, serta tungku pemanas. Selain itu, penelitian lain dilakukan oleh Arimba, dkk. (2019) melakukan penelitian pengembangan alat pembuatan bioetanol yang juga berfokus pada pengembangan alat destilasi yang menggunakan burner, tabung reaktor dan penampung distilat yang semua alat tersebut berbahan dasar plat *stainlees*.

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan tersebut, pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* seharusnya dapat dilakukan dengan mudah karena metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* ini memiliki kelebihan yaitu proses hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan pada kondisi optimal masing-masing, kemungkinan menjalankan proses fermentasi secara berkelanjutan serta mudah untuk mengontrol proses. Akan tetapi, pengembangan yang sudah dilakukan dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* belum dapat dilakukan oleh siswa di laboratorium sekolah masih menggunakan rangkaian alat percobaan yang spesifikasinya tidak sesuai jika digunakan di laboratorium sekolah. Hal ini dikarenakan alat yang dikembangkan oleh peneliti terdahulu menggunakan rangkaian alat untuk skala besar, harga alat yang digunakan cukup mahal serta membutuhkan waktu pembuatan bioetanol yang lama. Selain itu, terdapat kelemahan dari penelitian terdahulu yaitu pada alat destilasi yaitu masih menggunakan peralatan rumit untuk dirancang saat akan

digunakan dan menggunakan peralatan yang kurang aman karena menggunakan api serta alat berbahan kaca.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di atas, agar dapat melaksanakan kegiatan praktikum disekolah maka perlu dikembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol yang spesifikasinya sesuai untuk laboratorium sekolah yaitu alat pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang lebih sederhana, mudah diperoleh dari segi bahan pembuatnya, mudah digunakan, ukurannya tidak terlalu besar, tidak membutuhkan waktu pembuatan yang lama, aman, serta tidak membutuhkan biaya besar. Karena alasan-alasan tersebut, maka peneliti memutuskan untuk melakukan penelitian pengembangan yang berjudul “Pengembangan Alat praktikum Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas dengan Metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah karakteristik alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang dikembangkan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang memenuhi syarat didaktik, syarat konstruksi, dan syarat teknis.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat bagi:

1. Bagi guru sebagai alat bantu pembelajaran yang dapat membantu guru dalam kegiatan praktikum percobaan pembelajaran kimia yang menghasilkan bioetanol.

2. Bagi peserta didik dapat digunakan sebagai alat untuk melakukan praktikum percobaan di laboratorium.
3. Bagi sekolah dapat menambah sarana dan prasarana laboratorium sekolah.

E. Ruang Lingkup Penelitian

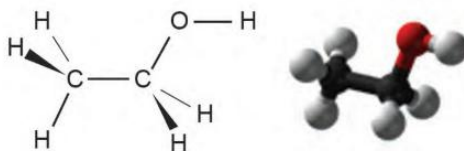
Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode penelitian yang digunakan merupakan metode penelitian dan pengembangan atau *Research and Development* (R&D) menurut Borg dan Gall (1989) yang dilakukan sampai tahap ketiga dari sepuluh tahap pengembangan yaitu penelitian dan pengumpulan informasi, perencanaan, dan pengembangan draf awal.
2. Metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* adalah proses produksi bioetanol dengan mengubah karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana melalui proses hidrolisis yang kemudian difermentasi dan selanjutnya didestilasi untuk menghasilkan etanol.
3. Alat praktikum yang dikembangkan berupa rangkaian alat pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan skala laboratorium yang menggunakan alat yang tersedia di sekitar, tidak memerlukan biaya besar, dan mudah digunakan di sekolah.
4. Alat dinyatakan berfungsi jika hasil uji keberfungsian berkriteria minimal cukup valid dengan persentase 51%-75%.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bioetanol

Bioetanol adalah salah satu contoh bahan bakar alternatif yang terbuat dari bahan organik. Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang dapat dijadikan sebagai alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui (Arif dkk., 2016). Bioetanol adalah suatu senyawa yang memiliki rumus molekul C_2H_5OH dengan rumus bangunnya CH_3-CH_2-OH atau penulisannya EtOH. Biomassa yang mengandung gula, selulosa dan pati mampu dibuat bioetanol (Arlianti, 2018). Molekul etanol dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Molekul Etanol (Lewis, 2002)

Bioetanol merupakan etanol yang memiliki ciri-ciri tidak berwarna, mudah menguap, mudah terbakar, larut dalam air, terurai secara biologis, toksisitas rendah dan tidak menimbulkan polusi udara yang besar dalam penggunaannya (Novia dkk., 2011). Bioetanol adalah cairan biokimia yang diperoleh dari proses fermentasi biomassa yang mengandung gula, pati dan selulosa dengan bantuan mikroorganisme. Menurut Retno & Nuri (2011), produksi bioetanol biasanya dilakukan dengan proses pemecahan pati menjadi gula sederhana atau glukosa melalui metode hidrolisis asam atau enzimatis. Secara umum tahapan pembuatan bioetanol meliputi hidrolisis, fermentasi dan destilasi (Subagyo & Arifin, 2016).

Tingkat kemurnian bioetanol merupakan faktor utama yang menentukan bisa atau tidaknya digunakan sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM). Bioetanol

yang memiliki kadar 95-99% dapat digunakan sebagai bahan campuran bensin, sedangkan kadar 40% digunakan sebagai bahan campuran minyak tanah (Prametha & Legowo, 2008). Bahan pembuatan bioetanol bisa didapatkan dari bahan yang mengandung glukosa seperti contohnya kulit nanas. Oleh karena itu, bioetanol tergolong ke dalam bahan bakar yang ramah lingkungan.

Penggunaan bioetanol memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Hambali dkk, (2007) menyatakan bahwa kelebihan bioetanol dibandingkan bahan bakar minyak berbasis petrokimia yaitu mengandung 35% oksigen, memiliki nilai oktan yang tinggi yaitu sebesar 96-113, bersifat ramah lingkungan karena gas buangnya hanya sedikit mengandung senyawa-senyawa yang berpotensi sebagai polutan seperti karbon monoksida, nitrogen oksida dan gas rumah kaca, serta dapat diperbaharui. Selain itu, kelebihan penggunaan bioetanol lainnya yaitu biaya produksi bioetanol ini tergolong murah karena sumber bahan baku berasal dari limbah pertanian yang memiliki nilai ekonomis yang rendah (Novia dkk., 2014), dan produksinya yang mudah. Namun bioetanol juga memiliki kekurangan yaitu dapat menyebabkan kesulitan ketika menghidupkan mesin menggunakan starter pada saat mesin dingin (Arlianti, 2018). Kekurangan bioetanol lainnya juga mampu bereaksi dengan logam yang mengakibatkan timbulnya produk korosi pada ruang bakar maupun pada sistem bakar (Setiawati dkk., 2013; Purwasih & Sutjhajo, 2017).

B. Proses Pembuatan Bioetanol

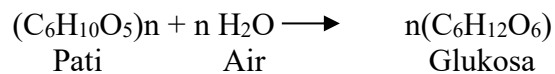
Pada umumnya proses pembuatan bioetanol dilakukan dalam beberapa tahap, diantaranya yaitu:

1. Proses Hidrolisis

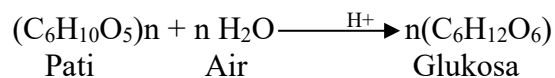
Hidrolisis merupakan suatu proses yang bertujuan memecah atau menguraikan suatu senyawa (Arlianti, 2018). Menurut Susanti, dkk. (2013) proses hidrolisis bisa dilakukan dengan 4 metode yaitu:

- a. Hidrolisis murni. Hidrolisis ini hanya menggunakan air sebagai katalis sehingga prosesnya lambat. Oleh karena itu diperlukan adanya penambahan

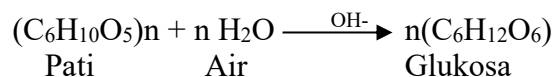
zat-zat yang sangat reaktif dan penggunaan uap air dengan temperatur yang tinggi agar dapat mempercepat reaksinya. Selain itu, hasil hidrolisis dari proses ini kurang sempurna atau kurang baik. Persamaan umum reaksi hidrolisis murni adalah sebagai berikut:



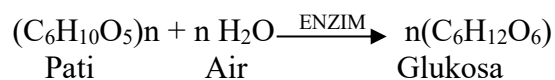
- b. Hidrolisis asam. Penggunaan asam sebagai katalis pada proses ini berfungsi untuk membantu mempercepat terjadinya proses konversi karbohidrat menjadi gula. Asam yang bisa digunakan pada proses hidrolisis diantaranya adalah asam sulfat, asam asetat, asam klorida, dan asam fosfat. Persamaan umum reaksi hidrolisis asam adalah sebagai berikut:



- c. Hidrolisis basa. Basa yang dapat digunakan pada proses ini adalah basa encer, basa pekat dan basa padat, namun yang biasa digunakan adalah basa cair. Hal tersebut dikarenakan penggunaan basa padat hanya untuk maksud tertentu misalnya sebagai pelebur *benzene* menjadi *phenol*. Persamaan umum reaksi hidrolisis basa adalah sebagai berikut:



- d. Hidrolisis enzim. Hidrolisis enzimatis adalah proses penggunaan enzim sebagai pemecah polimer menjadi monomer – monomer penyusunnya. Penggunaannya dalam industri misalnya pada pembuatan alkohol dari tetes tebu. Persamaan umum reaksi hidrolisis enzim adalah sebagai berikut:



Hidrolisis Asam merupakan metode hidrolisis yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol pada pengembangan alat ini. Hal ini dikarenakan bahan yang digunakan untuk membuat bioetanol sudah bersifat asam sehingga tidak perlu penambahan katalis untuk mempercepat hidrolisis.

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



Gambar 2. Alat Hidrolisis (Nurdyastuti, 2006)

Menurut Pinto & Katerina, (2016) terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses hidrolisis yang di antaranya adalah:

a. Suhu

Suhu berpengaruh terhadap reaksi pada proses hidrolisis. Reaksi yang cepat dapat diperoleh pada suhu yang tinggi. Namun jika suhu terlalu tinggi maka konversi akan menurun karena glukosa akan pecah menjadi arang.

b. Waktu

Waktu berpengaruh terhadap hasil hidrolisis. Proses konversi glukosa akan semakin baik seiring dengan semakin lamanya waktu hidrolisis. Namun jika melewati batas waktu tertentu maka penambahan konversi akan rendah.

c. Konsentrasi katalisator

Konsentrasi katalisator berpengaruh terhadap hasil hidrolisis. Reaksi hidrolisis akan semakin cepat seiring dengan semakin tingginya konsentrasi katalisator. Namun jika konsentrasi terlalu tinggi maka proses hidrolisis tidak optimal.

2. Proses Fermentasi

Fermentasi alkohol adalah proses konversi glukosa menjadi etanol dan karbon-dioksida pada keadaan *anaerob* dengan bantuan mikroorganisme (Prametha dan Legowo, 2008). Terjadinya konversi dipengaruhi oleh jenis dan ketersediaan makanan yang sesuai bagi pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme tersebut

(Osvaldo dkk., 2012). Menurut Azizah, dkk. (2012) terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses fermentasi yang diantaranya:

a. Jenis Mikroorganisme

Jenis mikroorganisme yang biasa digunakan pada proses fermentasi adalah khamir, kapang dan bakteri. Penentuan jenis mikroorganisme yang digunakan tergantung jenis substrat yang difermentasikan. Menurut Subrimobdi (2016) terdapat beberapa syarat mikroorganisme yang dapat digunakan dalam proses fermentasi yang diantaranya adalah :

- 1) Memiliki kemampuan pertumbuhan dan perkembangbiakan yang cepat pada substrat yang sesuai.
- 2) Mampu mengkonversi glukosa menjadi alkohol dengan cara menghasilkan enzim secara cepat.
- 3) Memiliki kemampuan fermentasi yang tinggi terhadap berbagai jenis gula.
- 4) Memiliki kemampuan bertahan pada lingkungan yang berkadar alkohol tinggi.
- 5) Mampu bertahan dan berkompetisi dengan mikroba lain

Dalam fermentasi alkohol umumnya jenis mikroorganisme yang digunakan adalah khamir karena kemampuannya yang dapat mengubah gula menjadi alkohol. *Saccharomyces cerevisiae* merupakan contoh khamir yang dapat membentuk alkohol dan biasa digunakan dalam pembuatan bioetanol (Setyawati & Rahman, 2017). *Saccharomyces cerevisiae* mempunyai sifat fakultatif yang mana memiliki dua cara dalam mendapatkan energinya (Hanum dkk., 2013). Mikroorganisme ini akan menggunakan respirasi *aerob* apabila terdapat udara pada lingkungan fermentasi dan akan menggunakan respirasi *anaerob* apabila tidak terdapat udara pada lingkungan fermentasi (Setyawati & Rahman, 2017). Namun tidak ada peningkatan jumlah alkohol pada saat mikroorganisme menggunakan respirasi *aerob* karena energi yang didapat hanya digunakan untuk pertumbuhan (Subrimobdi, 2016).

Saccharomyces cerevisiae memiliki dua enzim yakni enzim *invertase* dan enzim *zymase*. Enzim *invertase* berfungsi sebagai katalisator dan pengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, sedangkan enzim *zymase* berfungsi sebagai pengubah glukosa menjadi etanol dan CO₂ (Setyawati dkk., 2017).

b. Lama Fermentasi

Mikroorganisme membutuhkan waktu untuk mengubah gula menjadi etanol. Setiap mikroorganisme memiliki waktu optimal fermentasinya masing-masing karena dipengaruhi beberapa hal di antaranya adalah gula yang terkandung pada substrat, jumlah mikroorganisme yang digunakan, nutrisi yang terkandung, dan lainnya. Tanda berakhirnya proses fermentasi adalah tidak di-produksinya lagi CO₂ (Setiawati dkk., 2013).

c. Derajat Keasaman (pH)

pH yang baik untuk pertumbuhan khamir pada proses fermentasi adalah berkisar antara 4,0 – 5,0. Di luar dari kisaran tersebut, maka pertumbuhan mikroorganisme akan terganggu (Suri dkk., 2013). Proses fermentasi akan berjalan lambat jika pH rendah (<4) sedangkan pada pH tinggi (>5) mampu meningkatkan proses fermentasi namun dapat menghasilkan gliserin sebagai produk samping (Kurniati dkk., 2021). Pengaturan pH dapat dilakukan dengan penambahan natrium hidroksida untuk menaikkan pH sedangkan untuk menurunkan pH dapat menggunakan asam nitrat (Osvaldo dkk., 2012).

d. Kadar Gula

Bahan yang mengandung konsentrasi gula tinggi berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan yeast dan aktivitas fermentasinya. Kadar glukosa yang optimal untuk pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme adalah pada rentang 10 - 18% (Herliati dkk., 2018). Jika konsentrasinya terlalu pekat maka aktivitas enzim akan terhambat dan akan mengakibatkan lambatnya proses fermentasi (Subrimobdi, 2016).

e. Suhu

Suhu fermentasi berpengaruh terhadap lamanya proses fermentasi dikarenakan pertumbuhan khamir bergantung pada suhu lingkungan fermentasi. Setiap jenis khamir memiliki suhu pertumbuhan optimumnya masing-masing.

Saccharomyces cerevisiae memiliki suhu optimum pertumbuhan berkisar 19–32°C (Handayani dkk., 2016). Proses fermentasi akan berjalan lambat jika suhu terlalu rendah dan proses fermentasi akan terhenti jika suhu terlalu tinggi karena *Saccharomyces cerevisiae* akan mati (Osvaldo dkk., 2012).

f. Oksigen

Oksigen tidak dibutuhkan pada proses fermentasi karena fermentasi alkohol bersifat anaerob, namun oksigen dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Apabila udara terlalu banyak maka mikroorganisme hanya dapat berkembang biak dan tidak dapat mengubah gula menjadi alkohol.

Saccharomyces cerevisiae akan menghidrolisis gula menjadi air dan CO₂ pada kondisi aerob dan akan mengubah gula menjadi alkohol dan CO₂ pada kondisi anaerob (Azizah dkk., 2012).

3. Destilasi

Destilasi merupakan proses memisahkan atau menyuling larutan yang memanfaatkan perbedaan titik didih antara dua atau lebih larutan (Cseri dkk., 2018). Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali kedalam bentuk cairan. Penerapan proses ini didasarkan pada teori bahwa pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya. Model ideal distilasi didasarkan pada hukum Raoult dan hukum Dalton. Dengan memanfaatkan titik didih etanol yaitu 78°C dan titik didih air 100°C. Pada saat suhu larutan mencapai titik didih etanol 78°C terpenuhi, etanol akan menguap kemudian melewati unit kondensor untuk kembali ke fase cair (Anugrah, 2021). Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolatilan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas. Distilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer. Alat destilasi ini terdiri dari tabung pemanas, pipa destilasi dan kondensor. Walangare dkk. (2013) menyatakan destilasi dibagi menjadi 4 macam menurut jenisnya, di antaranya 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 (Walangare dkk., 2013).

b. Destilasi fraksionasi

Destilasi fraksionasi adalah metode pemisahan beberapa komponen cair dari suatu larutan atau campuran berdasarkan perbedaan titik didih masing-masing komponen tersebut. Campuran yang senyawa-senyawanya memiliki titik didih kurang dari 20°C dapat menggunakan destilasi fraksionasi. Destilasi ini biasa digunakan pada industri minyak (Walangare dkk., 2013).

c. Destilasi uap

Campuran yang senyawa-senyawanya memiliki titik didih sebesar 200°C atau lebih dapat menggunakan destilasi uap. Kelebihan destilasi ini adalah dapat digunakan untuk memisahkan senyawa pada campuran yang tidak larut dalam air pada temperatur berapapun, namun dapat didestilasi dengan air. Destilasi ini biasanya digunakan dalam pengekstrakan minyak nabati misalnya pengekstrakan minyak eucalyptus dari tumbuhan eucalyptus (Walangare dkk., 2013).

d. Destilasi vakum

Campuran yang senyawa-senyawanya mampu terdekomposisi kurang dari atau mendekati titik didih sebesar 150°C dapat menggunakan destilasi vakum. Destilasi ini tidak dapat digunakan pada pelarut yang memiliki titik didih rendah apabila yang digunakan sebagai kondensor adalah air dingin. Hal tersebut dikarenakan komponen yang menguap tidak dapat dikondensasi oleh air (Walangare dkk., 2013).

Destilasi sederhana merupakan jenis destilasi yang digunakan dalam proses pembuatan bioetanol yang berfungsi untuk meningkatkan kadar bioetanol pada fermentan. Destilasi sederhana umumnya menggunakan suhu 78-80°C yang mana suhu tersebut adalah titik didih etanol. Destilasi ini menggunakan titik didih etanol agar etanol menguap sehingga terpisah dari campuran (Moeksin dkk., 2015).

Proses destilasi juga memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan Destilasi diantaranya:

- a. Pemisahan Komponen Cairan. Destilasi dapat digunakan untuk memisahkan komponen-komponen cairan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Ini memungkinkan pemisahan substansi dalam campuran cairan yang memiliki titik didih berbeda.

- b. Pemurnian Zat Cair. Destilasi dapat digunakan untuk pemurnian zat cair dengan cara menghilangkan impurities yang memiliki titik didih lebih tinggi atau lebih rendah daripada zat yang diinginkan.
- c. Penghematan Energi. Pada beberapa kasus, distilasi dapat lebih efisien secara energi dibandingkan metode pemisahan lainnya, terutama jika perbedaan titik didih antara komponen-komponen cukup besar.
- d. Pemisahan Pelarut dari Solut. Destilasi dapat digunakan untuk memisahkan pelarut dari suatu larutan, dimana pelarut dapat diambil kembali setelah proses distilasi.

Kekurangan Destilasi diantaranya:

- a. Tidak Efektif untuk Pemisahan Komponen dengan Titik Didih Mendekati. Jika perbedaan titik didih antara komponen-komponen dalam campuran sangat kecil, destilasi mungkin tidak efektif, karena sulit untuk mendapatkan pemisahan yang baik.
- b. Kerusakan pada Senyawa yang Mudah Terurai. Destilasi panas tinggi dapat merusak senyawa-senyawa yang mudah terurai atau mengalami dekomposisi pada suhu tinggi.
- c. Peralatan Mahal dan Rumit. Proses destilasi sering memerlukan peralatan yang mahal dan rumit, terutama pada skala industri atau untuk pemisahan yang lebih kompleks.
- d. Tidak Cocok untuk Pemisahan Campuran Non-Cair. Destilasi hanya efektif untuk pemisahan campuran cair dan tidak dapat digunakan untuk pemisahan campuran non-cair seperti campuran padat.
- e. Penggunaan Energi Tinggi. Proses destilasi memerlukan pemanasan untuk mencapai titik didih, yang bisa memerlukan penggunaan energi yang cukup tinggi terutama pada skala industri.

C. Nanas

Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) merupakan salah satu tanaman buah yang tumbuh subur di daerah tropik dan sub tropik, termasuk di Indonesia. Indonesia bahkan dikenal sebagai 5 besar Negara dengan penghasil nanas tertinggi didunia

setelah Brazil, Filipina, Thailand, dan Costa Rica (Husniah & Gunata, 2020). Produksi nanas di Indonesia mencapai 1,85 juta ton menjadikan Indonesia sebagai produsen terbesar ketiga di Asia Tenggara dengan kontribusi sekitar 23%. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil nanas karena didukung oleh iklim tropis yang sesuai (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2016). Sentral produksi nanas terdapat di pulau Sumatera tepatnya di provinsi Lampung dengan produksi sebesar 581,674 ton dari total produksi 1.191.482 ton (Roswita & Lulrahman, 2022). Buah nanas yang diproduksi, selain dikonsumsi segar juga diolah menjadi berbagai macam makanan dan minuman, seperti selai, buah dalam sirup dan lain-lain dengan skala industri. Berbagai macam pengolahan tersebut, membutuhkan buah nanas dalam jumlah yang cukup besar dan sehingga menghasilkan limbah dalam jumlah besar, salah satunya adalah limbah kulit nanas (Bethan dan Fadillah, 2018). Saat ini, pemanfaatan limbah kulit nanas belum optimal digunakan. Limbah kulit nanas biasanya hanya digunakan sebagai bahan pakan ternak dan pupuk (Syauqi & Inasari, 2020).



Gambar 3. Kulit nanas (Dinpartan Pangan, 2021)

Limbah nanas banyak mengandung asam-asam organik dan mineral yang dapat membantu mempercepat pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum*. Limbah kulit nanas dikenal memiliki kandungan sukrosa, riboflavin thiamin, beragam mineral, senyawa ester yang membentuk aroma (Bethan & Fadillah, 2018). Disamping itu, kulit nanas merupakan biomassa lignoselulosa yang memiliki kandungan lignin, hemiselulosa dan selulosa (Casabar dkk., 2019). Pada tahun 1991, Wijana dkk. melakukan penelitian terhadap kandungan kulit nanas dan didapatkan kandungan karbohidrat sebesar 17,53%, kandungan gula sebesar 13,65% dan kandungan serat

kasar 20,87%, sisanya protein sebesar 4.41%. Menurut Vasiljevic (2020), kandungan yang terdapat pada kulit nanas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kulit nanas

Kandungan	Komponen	
	Keseluruhan Limbah (%)	Kulit (%)
Selulosa	19,4	14,0
Hemi-selulosa	22,4	20,2
Lignin	4,7	1,5
Abu	0,7	0,6
CSM	53,4	64,8
Total gula	11,7	-
Protein	4,4	4,1

(Vasiljevic, 2020)

Dilihat dari kandungan yang terdapat pada tabel, kulit nanas memiliki kandungan gula yang cukup tinggi sehingga kulit nanas memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol melalui proses fermentasi (Hasnely & Dewi, 1997).

D. Alat Praktikum

Alat praktikum berasal dari dua kata yaitu kata “alat” dan “praktikum”. Alat adalah suatu benda yang dipakai untuk mengerjakan sesuatu yang dipakai untuk mencapai maksud tertentu. Menurut KBBI, praktikum adalah bagian dari pembelajaran yang bertujuan agar siswa mendapat kesempatan untuk menguji dan melaksanakan dalam keadaan nyata apa yang diperoleh dalam teori. Alat praktikum atau alat peraga adalah seperangkat benda konkret yang dirancang, dibuat atau disusun secara sengaja yang digunakan untuk membantu memahami berbagai konsep atau prinsip-prinsip dalam pembelajaran. Penggunaan alat praktikum berfungsi untuk menjelaskan konsep atau materi yang abstrak (Arsyad, 2009).

Pengembangan alat praktikum, sebagaimana yang ditetapkan oleh Tim Penyusun Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas (2011) harus memenuhi syarat didaktik, syarat konstruksi dan syarat teknis yaitu alat yang dikembangkan harus sesuai dengan kurikulum, mendukung proses pembelajaran aktif, desain alat harus

fungsional, alat yang dikembangkan menggunakan menggunakan bahan yang memiliki daya tahan baik, aman, serta dilengkapi dengan petunjuk penggunaan. Hal ini dikarenakan alat praktikum merupakan unsur yang sangat penting dalam proses pembelajaran, terutama untuk pembelajaran kimia. Pengembangan alat praktikum IPA dapat dibuat dalam dua bentuk menurut Tim Penyusun Dirjen Pembinaan Sekolah Menengah (2011) 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 membuat namun kemudian dimodifikasi.

Menurut Tim Penyusun (2011) Dirjen Pembinaan Sekolah Menengah setidaknya ada 12 kriteria dalam pembuatan alat peraga praktikum. Adapun kriteria tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Bahan yang mudah diperoleh yaitu diantaranya dapat dengan memanfaatkan limbah, diminta, atau dibeli dengan harga yang murah.
2. Mudah dalam perancangan dan pembuatan alat.
3. Mudah dalam merangkainya atau perakitanannya yang tidak memerlukan keterampilan khusus.
4. Mudah digunakan atau dioperasikan.
5. Dapat memperjelas atau menunjukkan konsep/prinsip-prinsip pembelajaran dengan baik.
6. Dapat meningkatkan motivasi peserta didik.
7. Keakuratan pengukuran alat yang baik.
8. Aman atau tidak berbahaya saat digunakan.
9. Menarik.
10. Daya tahan alat baik sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu lama.
11. Inovatif dan kreatif.
12. Bernilai pendidikan.

E. Metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*

Langkah hidrolisis enzimatis seringkali bekerjasama erat dengan langkah berikutnya yaitu fermentasi dalam produksi etanol. Konsep proses *Separated Hydrolysis and Fermentation* (SHF) melibatkan pemisahan hidrolisis dan fermentasi dengan menjalankan reaksi dalam unit terpisah. Bahan lignoselulosa yang telah diolah sebelumnya didegradasi menjadi gula monomer oleh selulase dan kemudian difermentasi menjadi etanol dalam unit kedua yang terpisah.

Keuntungan utama dari metode SHF adalah kedua proses (hidrolisis dan fermentasi) dapat dilakukan pada kondisi optimal masing-masing. Selulase terbukti paling efisien pada suhu antara 45-50°C, dan organisme fermentasi yang umum digunakan memiliki suhu optimum 30-37°C (Taherzadeh & Karimi, 2007). Keuntungan lain dari SHF adalah kemungkinan menjalankan proses fermentasi secara berkelanjutan. Hal ini dimungkinkan karena penghilangan residu lignin dapat terjadi sebelum fermentasi (Galbe & Zacchi, 2002). Selain itu keuntungan SHF yang lainnya adalah mudah untuk mengontrol proses, dimana ketika terjadi proses hidrolisis terganggu, reaktor hidrolisis dapat langsung dicek dan ditindak tanpa harus mengganggu proses fermentasi.

Selain memiliki keuntungan, metode SHF juga memiliki kelemahan. Kelemahan utama SHF adalah produk akhir, yaitu glukosa dan selobiosa yang dilepaskan dalam hidrolisis selulosa sangat menghambat efisiensi selulase. Glukosa menghambat β -glukosidase yang mengakibatkan peningkatan selobiosa karena β -glukosidase mengkatalisis hidrolisis selobiosa menjadi glukosa. Selobiosa sendiri mempunyai efek menghambat selulase sehingga menurunkan aktivitas selulase (Alfani et al., 2000). Untuk mencapai hasil etanol yang wajar, diperlukan penambahan padatan yang lebih rendah dan penambahan enzim yang lebih tinggi (Balat, 2011).

F. Penelitian yang Relevan

Wandono, dkk. (2020) melaksanakan penelitian pengembangan alat dalam proses pembuatan bioetanol menggunakan limbah kulit nanas kering melalui metode

SHF dengan memanfaatkan panci sebagai alat pada proses hidrolisis yang nantinya akan dipanaskan pada suhu 60°C – 70°C . Setelah proses hidrolisis selesai, maka dilanjutkan dengan proses fermentasi yang memanfaatkan galon berukuran 19 liter sebagai tangki fermentor selama 14 hari dan alkoholmeter untuk mengamati kadar etanol yang dihasilkan. Setelah fermentasi, dilakukan tahap destilasi atau pemurnian menggunakan rangkaian destilasi labu dengan kondensor spiral dengan memanaskan labu destilasi pada temperature 80 – 85°C , selama 2-3 jam. Pada Gambar 4 adalah rangkaian alat yang digunakan untuk proses hidrolisis.



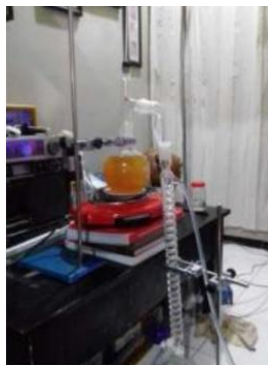
Gambar 4. Alat hidrolisis

Pada Gambar 5 adalah rangkaian alat yang digunakan untuk proses fermentasi.



Gambar 5. Alat fermentasi

Pada Gambar 6 adalah rangkaian alat yang digunakan untuk proses destilasi.



Gambar 6. Alat destilasi

Keunggulan alat yang digunakan pada penelitian Wandono, dkk. (2020) yaitu menggunakan alat hidrolisis dan fermentasi yang memanfaatkan barang yang mudah didapatkan, sedangkan kelemahan dari penelitian tersebut yaitu masih menggunakan alat-alat yang terlalu besar dan menggunakan alat yang memerlukan biaya cukup besar dan mudah pecah karena berbahan kaca seperti alat destilasi labu dengan kondensor spiral pada proses destilasi.

Penelitian pengembangan serupa juga dilakukan oleh Al Akbar, dkk. (2023) pada proses pembuatan bioetanol. Pada penelitian ini, pengembangan berfokus pada pengembangan alat destilasi dan tangki pemanas, dimana dari penelitian tersebut dibuat alat destilasi model sederhana dengan menggunakan dua variasi kondensor berbentuk spiral dari pipa tembaga berdiameter 9.5 mm (kondensor 1) dan diameter 8 mm (kondensor 2) dengan panjang tembaga 2 m dengan geometri lilitan spiral pipa tembaga 74,5 mm ulir yang disusun rapat pada kolom destilasi serta dilakukan pengembangan tangki pemanas yang dikembangkan menggunakan panci yang berbahan *stainless steel* dengan kapasitas sebesar 4 liter. Pada Gambar 7 adalah rangkaian kerangka alat destilasi yang dikembangkan.



Gambar 7. Kerangka alat destilasi

Pada Gambar 8 adalah rangkaian tangki pemanas alat yang dikembangkan.



Gambar 8. Tangki pemanas

Kelebihan dari penelitian Al Akbar, dkk. (2023) yaitu alat pembuatan bioetanol dirangkai dengan baik, ukuran yang tidak terlalu besar, aman dan kokoh sehingga alat dapat digunakan berulang kali, sedangkan kelemahan dari penelitian tersebut yaitu membutuhkan biaya yang besar dalam pembuatan alat-alat pembuatan bioetanol tersebut.

Penelitian lain dilakukan oleh Ernita dan Zola (2016) pengembangan alat pembuatan bioetanol yang juga berfokus pada pengembangan alat destilasi. Pengembangan alat destilasi pada penelitian tersebut menggunakan stainless steel dengan tebal 2 mm sebagai bahan material tangki distilator penyulingan yang kemudian dibawah tangki diberikan ruang sebagai tungku pemanas. Selanjutnya terdapat tangki pendingin atau kondensor yang dikembangkan menggunakan drum besi berbentuk tabung dengan volume 200 liter dengan aliran air masuk dan keluar dari tangki dengan bantuan pompa air serta dilengkapi dengan koil tembaga berdiameter 45 cm dan *valve* keluarnya produk dan air buangan. Selain itu, digunakan tangki fermentor yang menggunakan drum plastik dengan volume 200 liter sebagai tempat fermentasi. Adapun rangkaian alat yang digunakan terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian alat destilasi

Kelebihan dari penelitian Ernita & Zola (2016) yaitu alat pembuatan bioetanol tersebut dapat menghasilkan bioetanol dalam jumlah banyak. Sedangkan kekurangan dari penelitian tersebut yaitu memerlukan biaya yang cukup besar, waktu pembuatan yang lama dan ukuran alat yang terlalu besar sehingga alat pembuatan bioetanol ini tidak sesuai jika diterapkan di sekolah.

Selain itu, penelitian pengembangan lain yang dilakukan Arimba, dkk. (2019) yang mengembangkan alat pembuatan bioetanol yang juga fokus pengembangannya pada alat destilasi. Alat yang digunakan dalam pengembangan ini meliputi timbangan digital, pisau, blender, gelas ukur, tabung volume, timer, termometer, ph meter, kain saring, tabung fermentor, alcohol meter, alat distilasi sederhana model kolom refluks. Alat destilasi sederhana model kolom refluks dikembangkan menggunakan alat berbahan plat *stainlees*. Pada tabung tegak vertikal digunakan plat *stainlees* berdiameter 25 cm, tinggi 63 cm, dan tebal 0,5 mm, pada pipa destilasi juga digunakan plat *stainlees* berdiameter 4 cm, tinggi 92 cm dan tebal 2,2 mm, serta pada pipa kondensor yang juga menggunakan plat *stainlees* dengan diameter 3 cm, tinggi 88 cm, dan tebal 2 mm. Adapun rangkaian alat yang digunakan terlihat pada Gambar 10.



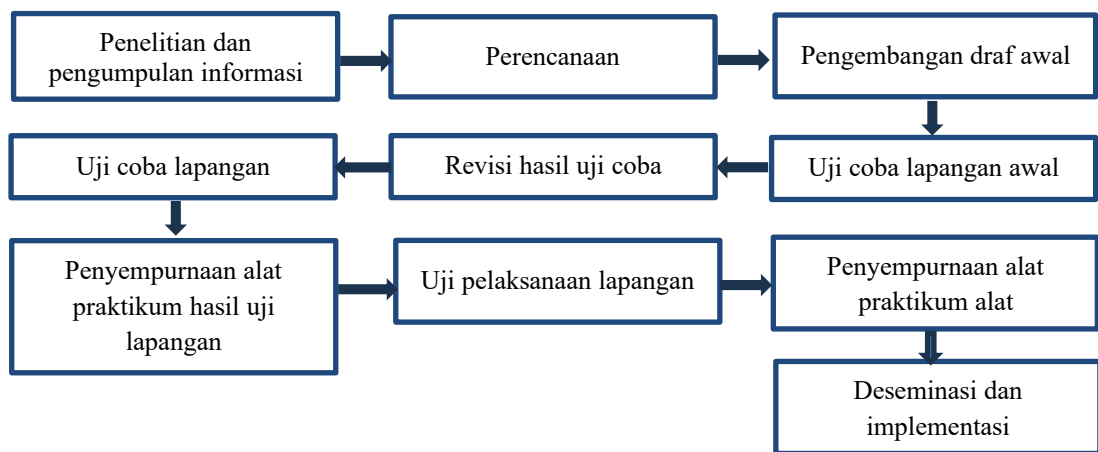
Gambar 10. Alat Distilasi Sederhana Model Kolom

Kelebihan dari penelitian Arimba, dkk. (2019) pada pengembangan alat pembuatan bioetanol ini yaitu ukuran alat yang tidak terlalu besar dan aman digunakan, sedangkan kelemahan pada alat pengembangan tersebut memerlukan biaya yang cukup besar dan perangkaian alat yang cukup rumit.

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yakni menggunakan metode penelitian dan pengembangan atau *Research and Development* (R&D) menurut Borg dan Gall. Menurut Borg dan Gall (1989) terdapat sepuluh tahap dalam penelitian dan pengembangan seperti yang disajikan pada Gambar 11.



Keterangan:

= aktivitas

→ = arah aktivitas selanjutnya

Gambar 11. Tahap-tahap dalam pengembangan menurut Borg dan Gall (1989)

Pada penelitian ini dilakukan 3 tahap yakni sampai tahap pengembangan draf awal guna mengetahui kelayakan dari alat praktikum yang telah dikembangkan pada saat digunakan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan waktu untuk melakukan tahap-tahap penelitian selanjutnya.

B. Subjek dan Lokasi Penelitian

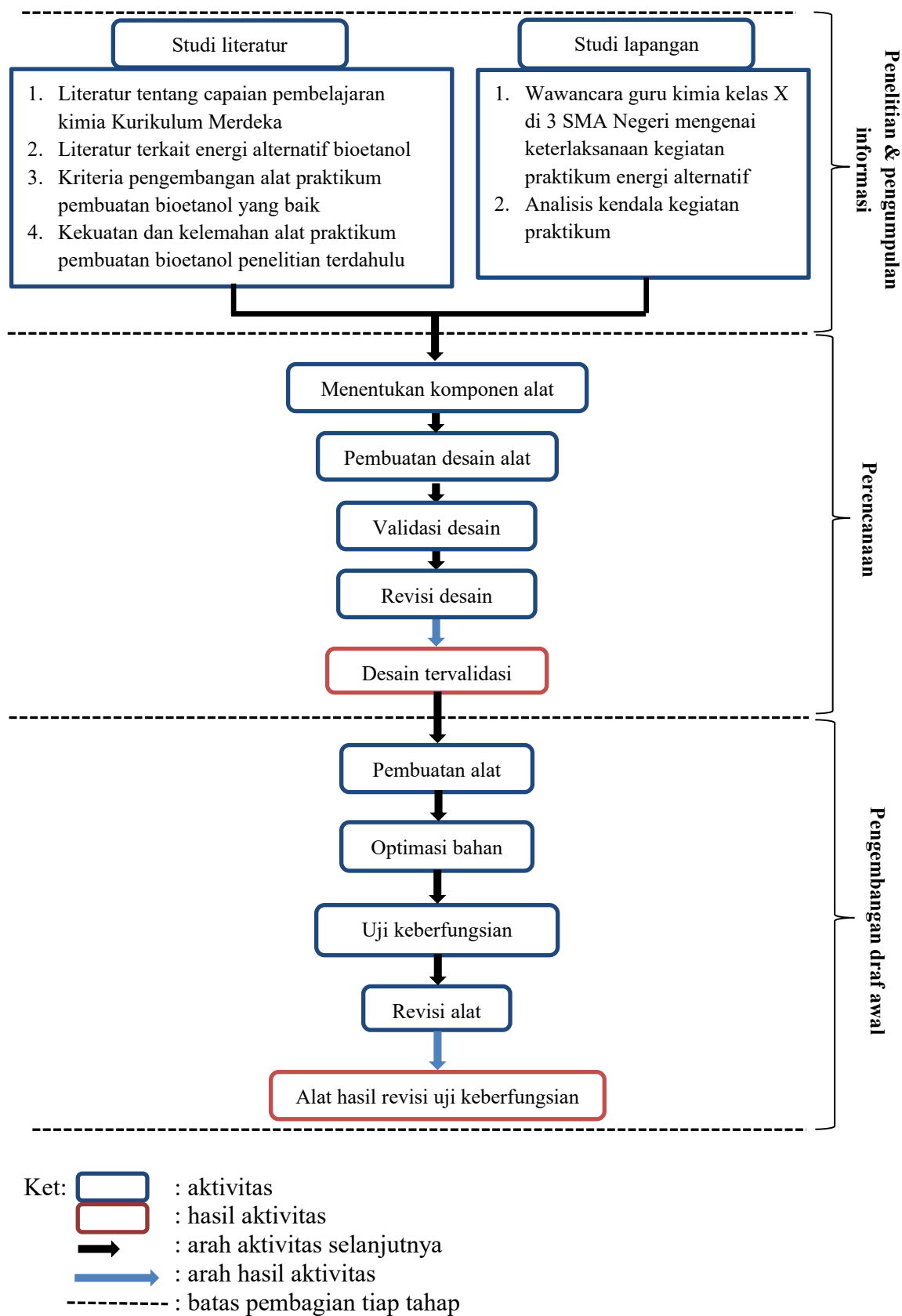
Adapun subjek dalam penelitian ini adalah pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*. Lokasi penelitian tahap studi pendahuluan dilakukan di 3 SMA di beberapa kabupaten di Provinsi Lampung yaitu SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar, dan SMA Negeri 1 Gedung Tataan. Pada tahap pengembangan produk awal dilakukan pembuatan video percobaan alat di Kedaton, Bandar Lampung, kemudian penilaian uji keberfungsian alat dilakukan di FKIP Universitas Lampung.

C. Sumber Data dan Data penelitian

Sumber data dalam penelitian ini adalah validator ahli FKIP Universitas Lampung serta guru mata pelajaran kimia kelas X. Pada tahap penelitian dan pengumpulan data dilakukan studi lapangan dan diperoleh data dari hasil wawancara masing-masing satu guru kimia kelas X di SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar, dan SMA Negeri 1 Gedung Tataan. Pada tahap perencanaan, data diperoleh dari hasil penilaian validasi desain berupa skor jawaban pengisian kuesioner oleh tiga orang validator ahli yaitu dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung terhadap desain alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang dikembangkan. Tahap pengembangan produk awal, pada uji keberfungsian diperoleh data hasil penilaian berupa skor jawaban pengisian kuesioner dari tiga orang validator ahli yaitu dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung.

D. Alur Penelitian

Alur pengembangan alat pembuatan bioetanol dari kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang dilakukan disesuaikan dengan tahap penelitian pengembangan oleh Borg dan Gall (1989) yang dijabarkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Alur penelitian dan pengembangan alat pembuatan

E. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahap-tahap pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengumpulan informasi

Penelitian dan pengumpulan data berguna untuk memperoleh informasi awal dalam melakukan pengembangan yang akan dilakukan. Tahapan penelitian dan pengumpulan data meliputi studi literatur dan studi lapangan.

- a. Studi literatur. Studi literatur yang dilakukan berupa pencarian informasi mengenai kriteria pengembangan alat praktikum bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang berguna sebagai pedoman dalam pengembangan alat praktikum. Berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel penelitian, dan informasi di internet digunakan untuk menyusun studi. Selain itu, pada tahap ini dicari instruksi yang jelas yang disertakan dalam pengembangan alat-alat ini, untuk pemanfaatannya yang akurat agar alat praktikum yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik dan benar.
- b. Studi lapangan. Studi lapangan dilakukan di 3 SMA di kabupaten yang berbeda yaitu SMA Negeri 13 Bandar Lampung, SMA Negeri 1 Natar, dan SMA Negeri 1 Gedung Tataan. Studi lapangan bertujuan untuk melihat sudah ada atau belumkah upaya menyadarkan siswa terkait isu-isu global terutama mengenai kelangkaan energi serta alat praktikum untuk membuat energi alternatif.

2. Perencanaan

Perencanaan produk merupakan langkah selanjutnya setelah mengumpulkan data yang dapat menjadi landasan pengembangan produk. Pada tahap ini dilakukan perencanaan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengembangan alat praktikum. Tahap perencanaan ini meliputi pencarian informasi mengenai alat dan bahan yang dapat digunakan untuk membuat alat pembuatan bioetanol agar dapat memperbaiki kelemahan alat praktikum yang ada sebelumnya. Bahan-bahan yang akan digunakan dalam pembuatan alat praktikum ini adalah bahan-bahan yang

tidak sulit didapat, daya tahan alat yang baik, biaya yang terjangkau, aman digunakan, efisien, ukuran bahan tidak terlalu besar, dan memenuhi persyaratan kelayakan alat laboratorium sekolah.

Pada tahap perencanaan ini juga ditentukan aspek yang akan dicapai oleh alat praktikum yang dikembangkan sehingga aspek ini menjadi acuan dalam menciptakan alat-alat praktis untuk membuat bioetanol. Agar alat praktikum yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik, maka harus dilengkapi dengan alat-alat yang baik sesuai fungsi yang diharapkan meliputi panci listrik sebagai alat tahan panas untuk hidrolisis, galon air mineral 5 liter sebagai tempat fermentasi atau fermentor yang sesuai, panci listrik sebagai alat pemanas untuk menguapkan sampel, selang pengalir air yang baik, botol plastik sebagai alat kondensor, *power head* sebagai pendorong air, ember sebagai penampung air dingin dan gelas kaca sebagai wadah akhir yang sesuai untuk menampung distilat.

3. Pengembangan produk awal

Dalam tahap pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* dilakukan beberapa tahapan yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Pembuatan alat

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*. Pembuatan alat disesuaikan dengan desain hasil revisi validasi desain. Penyesuaian pembuatan alat praktikum pembuatan bioetanol ini sesuai dengan komponen alat.

b. Optimasi bahan

Tahap selanjutnya setelah pembuatan alat adalah optimasi bahan percobaan untuk memperoleh komposisi bahan yang tepat. Optimasi bahan bertujuan untuk menghasilkan bioetanol sehingga dapat mengetahui keberfungsian alat yang dikembangkan. Optimasi bahan yang dilakukan pada pengembangan ini yaitu dari penelitian Wandono., dkk (2020).

Optimasi pertama yaitu optimasi perbandingan kulit nanas dengan air, optimasi ini menggunakan perbandingan kulit nanas dengan air yaitu optimasi bahan yang dilakukan untuk melakukan percobaan mengisi tangki fermentasi berukuran 1,5 liter dengan kapasitas volume bahan yang dibuat tetap yaitu 66,7% sehingga perbandingan komposisi campuran untuk variasi satu yaitu limbah kulit nanas : air (1:1) menggunakan 500 gram kulit nanas dan 500 gram air dan untuk variasi kedua (1:2) menggunakan 250 gram kulit nanas dan 750 gram air. Selanjutnya dilakukan optimasi jenis zat tambahan untuk mempercepat proses terbentuknya etanol. Variasi yang digunakan yaitu penambahan katalis asam, 4 gram ragi, 5 mL cuka dapur, 45 gram pupuk NPK dan 15 gram urea dan variasi kedua hanya menggunakan ragi sebanyak 16 gram. Zat tambahan yang dipilih nantinya yaitu zat tambahan yang paling optimal menghasilkan etanol dalam waktu 7 hari.

c. Uji keberfungsian alat

Alat praktikum pembuatan bioetanol yang telah dibuat selanjutnya akan dilakukan uji keberfungsian. Uji keberfungsian ini memiliki tujuan untuk menguji keberfungsian dari setiap komponn alat yang dikembangkan. Pada tahap ini peneliti akan melakukan uji keberfungsian alat dengan didokumentasikan dalam bentuk video pengujian alat yang dilakukan di Kedaton, Bandar Lampung. Selanjutnya video uji keberfungsian akan ditunjukkan kepada tiga orang validator ahli yaitu dua dosen pendidikan kimia dan satu dosen pendidikan fisika di FKIP Universitas Lampung dan dilengkapi dengan kuesioner untuk penilaian.

F. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini menggunakan kuesioner dan pedoman wawancara untuk mengumpulkan data. Kuesioner seperti yang dijelaskan oleh Sugiyono (2012) melibatkan pemberian serangkaian pernyataan kepada partisipan untuk dijawab. Kuesioner berisi campuran pernyataan tertutup yang diberikan secara langsung kepada responden serta ditambah dengan saran tentang apa yang dapat mereka bagikan melalui kuesioner. Para peserta diinstruksikan untuk mengisi kuesioner dengan mengikuti panduan yang telah disediakan. Selain itu, juga dilakukan

wawancara dengan bertanya langsung kepada responden menggunakan pedoman wawancara yang sudah disediakan.

G. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini adalah instrumen berupa kuesioner dan pedoman wawancara. Berikut ini merupakan penjabaran dari instrumen yang digunakan pada masing-masing tahap pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*.

1. Instrumen tahap penelitian dan pengumpulan informasi

Instrumen yang digunakan pada tahap ini berupa pedoman wawancara yang digunakan untuk mewawancarai satu guru kimia SMA kelas X di 3 SMA Negeri. Pedoman wawancara berisi beberapa pertanyaan untuk memperoleh informasi mengenai kurikulum merdeka, proses pembelajaran kimia, pembelajaran kimia terkait energi alternatif, ketersediaan alat praktikum, kendala melakukan praktikum, dan butuh atau tidaknya dilakukan pengembangan alat praktikum pembuatan energi alternatif. Hasil dari instrumen ini dijadikan sebagai landasan peneliti dalam mengembangkan alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*.

2. Instrumen tahap perencanaan

Instrumen yang digunakan pada tahap perencanaan berupa kuesioner untuk melakukan validasi desain alat praktikum. Pengisian kuesioner validasi desain alat praktikum sesuai dengan petunjuk yang ada pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga orang validator ahli yang merupakan dua dosen dari Pendidikan Kimia dan satu dosen dari Pendidikan Fisika FKIP Universitas Lampung. Kuesioner berisi pernyataan mengenai penilaian desain alat yang harus dipenuhi dalam pengembangan alat praktikum yang dilakukan yang terdiri dari komponen alat yang mudah diperoleh biaya yang relatif murah, mudah dirangkai, mudah digunakan, komponen aman, menarik, daya tahan baik, dan inovatif serta kreatif.

3. Instrumen tahap pengembangan produk awal

Pada tahap pengembangan produk awal ini, instrumen yang digunakan berupa kuesioner uji keberfungsian alat. Pengisian kuesioner validasi desain alat praktikum sesuai dengan petunjuk yang ada pada kuesioner dan dilakukan oleh tiga orang validator ahli yang merupakan dua dosen dari pendidikan kimia dan satu dosen dari pendidikan fisika FKIP Universitas Lampung. Kuesioner berisi pernyataan guna mengetahui keberfungsian dari setiap komponen alat yang telah dikembangkan mengenai berfungsi dengan baiknya alat, mudah digunakannya alat, efisiensi alat, daya tahan alat dan keamanan alat.

H. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan pada pengembangan alat praktikum pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* ini sebagai berikut:

1. Teknis analisis tahap penelitian dan pengumpulan informasi

Teknik analisis data hasil instrumen analisis kebutuhan berasal dari hasil jawaban wawancara penelitian dan pengumpulan informasi sebagai berikut:

- a. Mengklasifikasi pertanyaan, bertujuan untuk mengelompokkan jawaban berdasarkan pertanyaan pada wawancara.
- b. Menghitung persentase jawaban, bertujuan untuk melihat besarnya persentase setiap jawaban dari pertanyaan. Rumus yang digunakan untuk menghitung persentase jawaban responden setiap pertanyaan adalah sebagai berikut:

$$\%J_{in} = \frac{\sum J_i}{N} \times 100\% \text{ (Sudjana, 2005)}$$

Keterangan :

$\%J_{in}$ = Persentase pilihan jawaban-i

$\sum J_i$ = Jumlah skor jawaban-i.

N = Skor maksimal

- c. Menjelaskan hasil penafsiran persentase jawaban dari responden dalam bentuk deskripsi naratif.

2. Teknis analisis data hasil validasi desain dan uji keberfungsian alat praktikum.

Setelah dilakukan pengembangan alat praktikum dengan membuat desain alat praktikum yang telah divalidasi oleh validator yaitu dosen validator ahli, kemudian membuat alat praktikum yang juga divalidasi oleh dosen validator ahli. Setelah membuat alat praktikum, maka dilakukan uji keberfungsian komponen alat praktikum yang dikembangkan yang kemudian divalidasi oleh dosen validator ahli. Hasil dari jawaban kuesioner dikelola untuk memperoleh hasil jawaban keseluruhan yang diberikan responden. Teknik analisis data hasil jawaban kuesioner validasi desain alat praktikum dan uji keberfungsian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Mengklasifikasi pernyataan, bertujuan untuk mengelompokkan jawaban berdasarkan pernyataan pada kuesioner.
- b. Memberi skor jawaban responden. Penskoran jawaban responden berdasarkan skala *Likert* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penskoran kuesioner berdasarkan skala Likert

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

(Sugiyono, 2012)

- c. Pengolahan jumlah skor jawaban responden. Pengolahan ini dilakukan untuk melihat perolehan skor di setiap indikator pernyataan. Pengolahan jumlah skor ($\sum S$) jawaban kuesioner 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)

$$S_5 = 1 \times \text{jumlah responden}$$

- d. 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

$S_{1,2,3,4,5}$ = Jumlah skor untuk jawaban-i

- e. Menghitung presentase jawaban dari setiap pernyataan pada kuesioner dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%X_{in} = \frac{\sum S}{S_{maks}} \times 100\% \quad (\text{Sudjana, 2005})$$

Keterangan:

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

$\sum S$ = Jumlah skor jawaban

S_{maks} = Skor maksimum.

- f. Menghitung rata-rata persentase hasil skor kuesioner untuk mengetahui aspek-aspek yang ingin dicapai yaitu aspek keterkaitan dengan aspek ketahanan alat, aspek efisiensi alat, serta aspek keamanan alat praktikum dengan rumus sebagai berikut:

$$\%X_i = \frac{\sum \%X_{in}}{n} \quad (\text{Sudjana, 2005})$$

Keterangan :

$\%X_i$ =Rata-rata persentase kuesioner-i.

$\sum \% X_{in}$ = Jumlah persentase kuesioner-i.

n = Jumlah pernyataan.

- g. Menafsirkan persentase kuesioner secara keseluruhan dengan menggunakan tafsiran Arikunto (2010) sesuai dengan Tabel 3.

Tabel 3. Tafsiran persentase skor jawaban kuesioner validasi desain alat praktikum, validasi kelayakan alat praktikum, dan uji coba keberfungsian.

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).

- h. Menafsirkan kriteria validasi analisis presentase produk dengan hasil validasi ahli dengan menggunakan kreteria seperti pada Tabel 4.

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

Penelitian ini menghasilkan produk berupa alat praktikum pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation*. Adapun rincian kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian yaitu:

1. Alat praktikum pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang telah dikembangkan memiliki karakteristik yaitu komponen alat terbagi menjadi 3 rangkaian alat yang terdiri dari rangkaian alat hidrolisis, alat fermentasi, dan alat destilasi.
2. Alat praktikum yang dikembangkan telah memenuhi syarat didaktik, syarat konstruksi dan syarat teknis yaitu alat yang dikembangkan sesuai dengan kurikulum, mendukung proses pembelajaran aktif, alat yang fungsional, alat yang dikembangkan menggunakan menggunakan bahan yang memiliki daya tahan baik, aman, serta dilengkapi dengan petunjuk penggunaan.
3. Hasil validasi desain alat berdasarkan pengisian kuesioner oleh validator ahli diperoleh hasil sebesar 84,67% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga layak untuk dikembangkan.
4. Hasil pengisian kuesioner uji keberfungsian alat oleh validator ahli terhadap keberfungsian komponen-komponen alat pembuatan bioetanol dengan metode *Separated Hydrolysis and Fermentation* yang dikembangkan diperoleh persentase rata-rata sebesar 86,67% dengan kriteria sangat tinggi dan valid sehingga layak untuk digunakan sebagai alat praktikum.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait perbandingan komposisi bahan yang digunakan untuk percobaan.
2. Perlu dilakukan penelitian yang menambahkan alat pengecekan pH untuk percobaan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan alat yang telah dikembangkan. Hal ini dikarenakan penelitian ini hanya dilakukan sampai pada tahap pengembangan produk awal.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengetahui efektifitas pengembangan ini kepada peserta didik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A. B., Diyono, W., Budiyanto, A. & Richana, N. 2016. Analisis rancangan faktorial tiga faktor untuk optimalisasi produksi bioetanol dari molasestebu,” *Informatika Pertanian*, vol. 25, no.1, pp. 145.
- Ariyani, S. B. & Supriyatna, N. 2013. Perbandingan Karbopol dan Karboksimetil Selulosa Sebagai Pengental Pada Pembuatan Bioetanol Gel. *Jurnal Biopropal Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 60.
- Arlianti, L. 2018. Bioetanol Sebagai Sumber Green Energy Alternatif yang Potensial di Indonesia. *Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Syekh Yusuf*.
- Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Taktik Edisi Revisi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Arsyad, A. 2009. *Media Pembelajaran Edisi 12*. Jakarta: Rajawali Pers. Edisi 14. Jakarta: Rajawali Pers.
- Azizah, N., Al-Baarri A. N. & Mulyani, S. 2012. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol, pH, Dan Produksi Gas Pada Proses Fermentasi Bioetanol Dari Whey Dengan Substitusi Kulit Nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, vol. 1, no. 2, pp. 72–77.
- Balat, M. 2011. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 858–875.
- Bethan, M. S. & Fadillah, H. N. 2018. Pembuatan *Nata De Pina* dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas Comusus L.Merr*) dengan Proses Fermentasi Menggunakan Bakteri *Acetobacter xylinum*. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Surabaya, pp. 45-60.
- Borg, W.R. & Gall, M.D. 1989. *Educational Research: An Introduction. (5th ed.)*. New York & London: Longman Inc.
- BPPT. 2017. *Outlook Energi Indonesia 2017: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih*. ISBN 978-602-74702-2-4, PTSEIK-BPPT, Jakarta.

- Casabar, J. T., Unpaprom, Y. & Ramaraj, R. 2019. Fermentation of pineapple fruit peel wastes for bioethanol production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 9, pp. 761-765.
- Dinpertan Pangan. 2021. *Pemanfaatan Kulit Nanas sebagai Pakan Ternak*. Dinas Pertanian & Pangan Kabupaten Demak.
- Fahmi .D., Susilo B., & Nugroho W. A. 2014. Pemurnian Etanol Hasil Fermentasi Kulit Nanas (*Ananas Comosus L. Merr*) Dengan Menggunakan Destilasi Vakum. *Jurusan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya*, vol. 2, No. 2, pp. 131-137.
- Febriasari, A., Mujimi, A., Irawan, N., Candra, R., & Arlofa, N. 2021. Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) Terhadap Kadar Etanol dari Kulit Nanas Madu dengan Metode SHF dan SSF. *Jurnal Chemtech Teknik Kimia Universitas Serang Raya*, vol. 7, no. 2, pp. 45-52.
- Fitria, A., Amri, A. & Fadli, A. 2016. Pembuatan *Prototip Dye Sensitized SolarCell* (DSCC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman Coating TiO₂. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9.
- Galbe, M., & Zacchi, G. 2002. A review of the production of ethanol from softwood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol 59, pp. 618–628.
- Galvin, R. 2022. Net-zero-energy buildings or zero-carbon energy systems? How best to decarbonize Germany’s thermally inefficient 1950s-1970s-era apartments. *Journal of Building Engineering*, vol. 54, pp. 1-12.
- Hambali, E., Mujdalipah, S., Tambunan, A.W., dan Hendoroko, R. 2007. *Biodiesel, Bioetanol, Biogas, Pure Plant Oil, Biobriket, dan Bio-Oil*. Teknologi Bioenergi, Agromedia, Jakarta.
- Handayani, S. S., Hadi, S. & Patmala H. 2016. Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Buah Kumbi Untuk Bahan Baku Biotanol. *Jurnal Pijar MIPA*, vol. 11, no. 1, pp. 28–33.
- Hanum, F., Pohan, N., Rambe, M., Primadony, R., & Ulyana, M. 2013. Pengaruh Massa Ragi Dan Waktu Fermentasi Terhadap Bioetanol Dari Biji Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 2, no. 4, pp. 49-54.
- Hasnelly, Sumartini, & Dewi. 1997. Pengaruh Penambahan Konsentrasi *Sacharomyces Cerevisiae* dan Amonium Phosphat pada Pembuatan Nata Kulit Nanas. *Prosiding SNTKI*. Bandung.
- Herliati, Sefaniyah, & Indri, A. 2018. Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol. *Jurnal Teknologi.*, vol. 6, no. 1, pp.1–10.

- Husniah, I. & Gunata, A. F. 2020. Ekstrak kulit nanas sebagai antibakteri. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, vol. 2, no. 1, pp. 85-90.
- Keryanti, Herliana, H., Anggraeni, N. & Manfaati, R. 2023. Pengaruh Konsentrasi Tepung Kulit Nanas Pada Fermentasi Dengan Metode Shf dan Ssf Untuk Menghasilkan Etanol. *Prosiding The 14th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 539-547.
- Kemendikbudristek BSKAP. 2022. Salinan Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 Tentang Capaian Pembelajaran Pada Pendidikan Anak Usia Dini Jenjang Pendidikan Dasar dan Jenjang Pendind. In *Kemendikbudristek* (Issue 021), pp. 1-3.
- Kurniati, Y., Khasanah, I. E. & Firdaus, K. 2021. Kajian Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus. L*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 10, no. 2, pp. 95–101.
- Kurniawan, T.B., Bintari, H.S. & Susanti, R. 2014. Efek Interaksi Ragi Tape dan Ragi Roti terhadap Kadar Bioetanol Ketela Pohon (*Manihot Utilissima, Pohl*) Varietas Mukibat. *Journal of Biology & Biology Education*, vol. 6, no. 2, pp. 152-160.
- Lee C.-C., Hussain, J. & Chen. Y. 2022. The optimal behavior of renewable energy resources and government's energy consumption subsidy design from the perspective of green technology implementation. *Renew. Energy*, vol. 195, pp. 670–680.
- Lewis, D. E. 2002. The beginnings of synthetic organic chemistry : Zinc alkyls and the kazan' School. *Bulletin for the History of Chemistry*, vol. 27, no. 1, pp. 37-44.
- Moeksin, R., Sari, W. & Eni. 2015. Pembuatan Bioetanol Dari Air Limbah Cucian Beras Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatik Dan Fermentasi. *J. Tek. Kim.*, vol. 21, no. 1, pp. 14–21.
- Novia, Astriana, W. & Rosmawati. 2014. Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dengan Metode Ozonolisis Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF). *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 3, no. 20, pp. 38-48.
- Novia, Faizal, M., Ariko, F. & Yogamina D. H. 2011. Hidrolisis Enzimatik dan Fermentasi TKKS yang Didelignifikasi dengan Asam Sulfat dan NaOH Untuk Produksi Etanol. *Prosiding Seminar Nasional Avoer ke-3*, pp. 451-462.
- Nurdyastuti, I. 2006. *Teknologi Proses Produksi Bioethanol*, http://www.oocities.com/markal_bppt/publish/biofbbm/biindy.pdf

- Osvaldo, Z. S., Panca, P. S. & Faizal, M. 2012. Pengaruh Konsentrasi Asam Dan Waktu Pada Proses Hidrolisis Dan Fermentasi Pembuatan Bioetanol Dari Alang-Alang. *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 18, no. 2, pp. 52–62.
- Prametha, N. & Legowo A. 2008. Pemanfaatan Susu Kadaluwarsa Dengan Fortifikasi Kulit Nanas Untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, vol. 2, no. 1, pp. 30–35.
- Pinto, C. J. & Katerina, F. J. 2016. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas. *Jurnal Inovasi Proses*, vol. 1, no. 2, pp. 63–67.
- Purwasih, R. & Sutjihajo, D. H. 2017. Pemanfaatan Limbah Pabrik Brem Sebagai Bahan Baku Bioetanol Untuk Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 25–36.
- Rahmi, D., Zulnazri, Dewi, R., Sylvia, N. & Bahri, S. 2022. Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Menjadi Bioetanol Dengan Menggunakan Ragi (*Saccharomyces Cerevisiae*). *Chemical Engineering Journal Storage*, vol. 2, no. 5, pp. 147–160.
- Retno, D. T. & Nuri, W. 2011. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang. *Jurusan Teknik Kimia FTI UPN Veteran. Yogyakarta*.
- Roswita, & Lulrahman, F. 2022. Pemanfaatan Hasil Samping Bonggol Nanas dari UMKM Kue Kering menjadi Serbuk Instan. *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9.
- Sari, A. A., Putri, D., Dahnum, M. H., Burhani, D. & Mansur, D. 2019. Perkembangan Bioetanol G2: *Teknologi dan Perspektif*, LIPI Press, Jakarta.
- Setyawati, H. & Rahman, N. A., 2017. Bioetanol Dari Kulit Nanas Dengan Variasi Massa *Saccharomyces Cereviceae* Dan Waktu Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4.
- Setiawati, D. R., Sinaga, A. R. & Dewi, T. K. 2013. Proses Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang Kepok. *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 19, no. 1, pp. 9–15.
- Subagyo, R. & Arifin, W. 2016. Analisa Variasi Waktu Fermentasi Pembuatan Bioetanol Dengan Bahan Kulit Singkong Dan Kulit Nanas. *SJME Kinemat.*, vol. 1, no. 2, pp. 113–124.
- Subrimobdi, W. B. 2016. Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Tingkat Produksi Bioetanol Dengan Bahan Baku Nira Siwalan. *Jurnal Tugas Akhir*, pp. 1–13.
- Sudjana. 2005. *Metode Statistika*. Bandung: Trasito.

- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta
- Sun, Y. & Cheng, J. J. 2002. Hydrolysis of Lignocellulose Materials for Ethanol Production. *A Review, Bioresource Technology*, 83, pp. 1-11.
- Suri, A., Yusak, Y. & Bulan, R. 2013. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol Dari Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jack*) Dengan HCl 30% Menggunakan Ragi Roti. *Jurnal Saintia Kimia*, vol. 1, no. 2, pp. 1-7.
- Susanti, A. D., Prakoso, P. T. & Prabawa H., 2013. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas Melalui Hidrolisis Dengan Asam. *Ekuilibrium*, vol. 12, no. 1, pp. 11-16.
- Syauqi, A. & Inasari, S. S. 2020. "Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas (*Ananas comosus L.*) Menjadi Bioetanol dengan Penambahan Ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) yang Berbeda. *Buletin Loupe*, vol. 16, no. 2, pp. 67-73.
- Taherzadeh, M.J. & Karimi, K. 2007. Acid-based hydrolysis process for ethanol from lignocellulosic materials: *a review*. *BioResources* 2, pp. 472-499.
- Vasiljevi, T. 2022. Pineapple waste for production bioetanol. In *Valorizatic Fruit Processing By-products*. Elsevier Inc.
- Walangare, K. B. A., Lumenta, A. S. M., Wuwung, J. O. & Sugiarto, B. A. 2013. Rancang Bangun Alat Konversi Air Laut Menjadi Air Minum Dengan Proses Destilasi Sederhana Menggunakan Pemanas Elektrik. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, pp. 1-3.
- Wandono, E. H., Kusdiyantini, E. & Hadiyanto. 2020. Efektivitas Limbah Kulit Kering Nanas Madu (*Ananas Comosus L.Merr*) untuk Pembuatan Bioetanol dengan Proses Fermentasi dan Distilasi. *JEET: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, pp. 47-53.
- Wijana S, Kumalaningsih A, Setyowati U, Efendi & Hidayat N. 1991. Optimalisasi Penambahan Tepung Kulit Nanas dan Proses Fermentasi pada Pakan Ternak terhadap Peningkatan Kualitas Nutrisi. *ARMP (Deptan)*. Universitas Brawijaya. Malang.