

STUDI DESAIN TANGKI MASERASI PADA PROSES PEMBUATAN BIOPESTISIDA DARI KULIT BAWANG MERAH KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Dimas Ficky Hidayat dan Agung Ari Wibowo

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
dimasfickyhidayat@gmail.com ; [agung.ari@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Tangki merupakan peralatan utama yang harus tersedia di industri dan memiliki berbagai kegunaan seperti sebagai wadah penyimpanan. Tangki juga dapat digunakan sebagai maserator untuk membuat produk biopestisida dari limbah kulit bawang merah agar produk tetap terjaga ketersediaannya. Namun, proses maserasi membutuhkan waktu yang lama dalam menghasilkan ekstrak, sehingga diperlukan perancangan tangki yang dapat membuat proses maserasi lebih cepat dengan diberikannya pengaduk dan pemanas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dimensi tangki yang sesuai untuk proses maserasi limbah kulit bawang merah menjadi biopestisida dengan kapasitas produksi 15.000 ton/tahun dengan pemberian pengaduk dan pemanas. Metode pada penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan perancangan. Proses maserasi limbah kulit bawang merah memerlukan waktu 0,5 jam dengan suhu operasi 50°C. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan ketebalan tangki sebesar 0.0098 m, tinggi tangki 1,98 m, diameter tangki 1,05 m, penambahan jaket pemanas dan pengaduk *type six blade open* turbin dapat dilakukan pada tangki maserasi.

Kata kunci: *biopestisida, jaket pemanas, pengaduk, tangki maserasi*

ABSTRACT

Tank is the main equipment that must be available in the industry and has various uses such as a storage container. The tank can also be used as a maserator to make biopesticide products from onion skin waste so that product availability is maintained. However, the maceration process takes a long time to produce extracts, so it is necessary to design a tank that can make the maceration process faster by providing a stirrer and heater. This study aims to determine the appropriate tank dimensions for the maceration process of onion skin waste into biopesticides with a production capacity of 15,000 tons/year by providing stirrers and heaters. The maceration process of onion skin waste takes 0.5 hours with an operating temperature of 50°C. Based on the calculation results, the thickness of the tank is 0.0098 m, the height of the tank is 1.98 m, the diameter of the tank is 1.05 m, the addition of a heating jacket and stirrer type six blade open turbine can be carried out in the maceration tank.

Keywords: *biopesticide, jacketed vessel, maceration tank, stirrer*

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki kekayaan atas sumber daya alam yang melimpah. Kekayaan tersebut berasal dari sumber daya air, sumber daya lahan, dan sumber daya hutan yang tersebar secara luas pada setiap pulau pulau di Indonesia [1]. Kekayaan daya hutan tersebut secara tidak langsung membuat sektor pertanian Indonesia menjadi

lebih banyak. Semakin banyaknya dan semakin berkembangnya sektor pertanian Indonesia membuat kebutuhan akan biopestisida akan semakin besar [2]. Hal ini karena biopestisida memiliki keunggulan dari pestisida sintetis karena lebih ramah lingkungan dan tidak membahayakan manusia [3]. Pembuatan biopestisida dapat berasal dari bahan alam seperti kulit bawang merah [4]. Agar dapat menunjang kebutuhan biopestisida, maka dibutuhkanlah rancangan alat tangki maserasi pada pembuatan biopestisida yang dapat memenuhi kebutuhan biopestisida khususnya di Indonesia.

Tangki adalah tempat penyimpanan yang dipakai pada industri pengilangan dan perminyakan khususnya pada penerimaan, penimbunan, dan pendistribusian (P3). Tangki tidak hanya sebagai tempat penyimpanan namun bisa digunakan untuk menjaga produk atau bahan baku dari kontaminan [5]. Tangki juga berfungsi untuk mengubah suatu bahan menjadi produk yang lebih bermanfaat dan memiliki nilai jual lebih tinggi [6], sedangkan maserasi merupakan salah satu metode ekstraksi yang paling umum dilakukan dengan cara memasukkan bahan dan pelarut yang sesuai kedalam suatu wadah [7]. Dari penjelasan diatas, tangki maserasi adalah tempat dimana terjadinya proses ekstraksi akibat perendaman bahan dengan pelarut dengan pemanasan atau tanpa pemanasan agar tidak terjadi kontaminan.

Perencanaan desain tangki memerlukan beberapa hal dalam pembuatannya, antara lain kapasitas tangki, jenis material, jumlah *shell course*, ketebalan pelat *shell course*, dan pembebanan tangki [8]. Perencanaan tangki juga memerlukan massa jenis bahan yang digunakan, spesifik gravitasi, faktor korosi, suhu desain, dan ketebalan plat *shell* [5]. Setelah semua data sudah di dapatkan, selanjutnya adalah desain *supporting leg* yang berguna menahan *roof* dari bersentuhan dengan *bottom*. Desain *support leg* harus mampu menahan beban *roof* dan *uniform load* sebesar 1,2 kPa [9].

Tangki maserasi dapat mengekstrak zat-zat yang nantinya akan mengakibatkan hama pada tumbuhan mati atau berkurang. Zat-zat tersebut didapatkan dari kandungan yang ada pada kulit bawang merah. Kandungan pada kulit bawang merah adalah acetogenin yang berguna sebagai penawar racun atau sebagai pestisida [10]. *Acetogenin* pada konsentrasi tinggi akan memiliki keistimewaan sebagai anti *feeden*, dalam hal ini hama serangga tidak akan lagi bergairah dan menurunnya nafsu makan yang mengakibatkan hama serangga enggan untuk melahap bagian tanaman yang disukainya, sedangkan dalam konsentrasi rendah acetogenin akan bersifat racun perut yang mengakibatkan kematian dari hama itu sendiri [11]. Kulit bawang merah juga mengandung asam absisat, gibberelin, dan sitokinin yang membunuh hama ulat dan dapat mempercepat pertumbuhan akar [12]. Kulit bawang merah juga mengandung *actinomyces* yang berfungsi sebagai pengendali jamur pada tanaman [13].

Pada proses maserasi untuk menghasilkan produk terbaik pada biopestisida membutuhkan waktu 24 jam dalam proses maserasi [14]. Hal ini dikarenakan tidak menggunakan beberapa kondisi operasi yang dapat digunakan untuk mengurangi waktu proses maserasi, seperti jaket pemanas dan pengaduk akan membantu proses maserasi untuk lebih mempercepat proses terekstraknya biopestisida dari kulit bawang merah. Pengaduk juga berfungsi untuk menghomogenkan produk [15], sedangkan dalam merancang pengaduk harus disesuaikan dengan bahan yang digunakan [16]. Penambahan jaket

pemanas pada desain tangki maserasi nilai A yang tersedia harus lebih besar dari nilai A yang dibutuhkan [17].

Berdasarkan penjelasan diatas peneliti bermaksud untuk merancang tangki maserasi untuk menghasilkan biopestisida dengan waktu lebih cepat agar proses maserasi bisa lebih efisien atau lebih menghemat waktu untuk menghasilkan produk biopestisida. Dalam merancang tangki maserator untuk proses maserasi ditambahkan pengaduk dan penambahan jaket pemanas untuk membantu proses maserasi lebih cepat dan mengurangi pengendapan akibat waktu tinggal dalam proses maserasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Pengumpulan Data

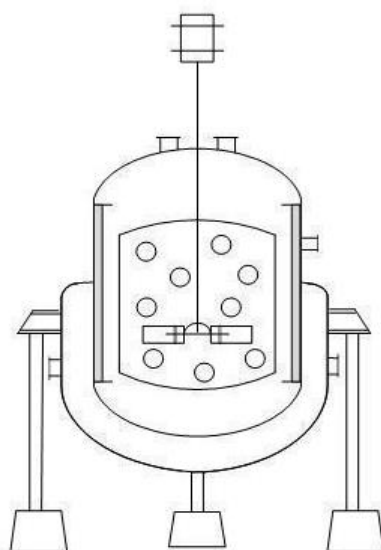
Untuk melakukan perhitungan desain alat tangki maserasi ada beberapa data yang harus diketahui atau dibutuhkan yaitu waktu tinggal, bahan konstruksi, tekanan, suhu operasi, jenis pengelasan, faktor pengelasan, *allowable stress* (f), faktor korosi (C), viskositas, densitas, laju alir massa, dan *volume liquid* (%). Semua data dibutuhkan dapat diambil dari data perhitungan neraca massa yang telah dihitung sebelumnya. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Menggunakan acuan data dari jurnal, text book, yang membahas tangki maserasi dengan mengutamakan dasar perhitungan perancangan alat tersebut.

b. Perencanaan

Untuk memudahkan dalam menghitung data-data yang diperlukan maka, digunakan aplikasi Microsoft Excel. Data tersebut antara lain yaitu *volume liquid*, volume total, volume ruang kosong, diameter bejana, tinggi liquid, tinggi silinder, tekanan liquid, total bejana, tebal tutup, *nozzle*, dimensi agitator, *impeller*, *baffle*, *support design* (leg design dan lug design), jaket pemanas, luas perpindahan panas yang dibutuhkan, dan luas perpindahan yang tersedia.



Gambar 1. Desain tangki maserasi dengan penambahan jaket pemanas

2.2. Perhitungan Desain Alat Maserasi

Perhitungan pada penelitian ini menggunakan beberapa spesifikasi seperti yang tampak pada Tabel 1 [18] :

Tabel 1. Spesifikasi untuk perhitungan tangki maserasi

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Bentuk	Silinder tegak bagian atas dan tutup bawah standart dishead
2	Bahan konstruksi	Plate steels SA 167 grade 11 type 316
3	Waktu tinggal, jam	0,5
4	Jumlah alat	1
5	Tekanan, atm	1
6	Suhu operasi, Celcius	50
7	Pengelasan	Double weleded butt joint
8	Faktor pengelasan	0,8
9	Allowable stress, psig	18750
10	Faktor korosi, in	0,125
11	Viskositas, lb/ft.s	0,0001814
12	Densitas, lb/ft ³	53,6987
13	Laju alir massa, lb/jam	4174,35607
14	Volume liquid	75% volume total
15	Dimensi tinggi liquid dalam silinder : diameter bejana	6 : 5
16	Jenis agitator	Six blade open turbin
17	Ud (aquous solution), Btu.°F/ft ² .jam	100

Dari data Tabel 1 dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- Kapasitas Bejana

$$Volume\ liquid = \frac{Laju\ massa\ liquid\ x\ waktu\ tinggal}{Densitas\ liquid}$$

(1)

$$Volume\ total = Volume\ liquid + Volume\ Ruang\ kosong \tag{2}$$

- Diameter Bejana

$$Volume\ liquid = V_1 + V_2 \tag{3}$$

- Tinggi Liquid

$$Ll = 5 : 6 \times di \tag{4}$$

- Tinggi Silinder

$$Lt = ha + hb + Ls \tag{5}$$

- Tekanan liquid

$$P\ Alat = P\ operasi + P\ liquid \tag{6}$$

- Tebal bejana

$$ts = \frac{P \text{ alat } x \text{ di}}{2(f \text{ x } E - 0,6 P \text{ alat})} + C \quad (7)$$

- Tebal tutup

$$\text{tebal tutup atas} = \frac{P \text{ alat } x r \text{ x } W}{2(f \text{ x } E - 0,1 P \text{ alat})} + C \quad (8)$$

$$\text{tebal tutup bawah} = \frac{P \text{ alat } x r \text{ x } W}{2(f \text{ x } E - 0,1 P \text{ alat})} + C \quad (9)$$

- Nozzle

$$Q = \frac{m \text{ liquid}/p}{v} \quad (10)$$

$$\text{di optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times P^{0,13} \quad (11)$$

Nilai di optimal 0,6807 maka dihasilkan spesifikasi *nozzle* seperti yang tampak pada Tabel 2 :

Tabel 2. Spesifikasi nozzle

No	Spesifikasi	Keterangan
1	d nominal pipe, in	1
2	A, in	4,25
3	T, in	9/16
4	R, in	2
5	E, in	1,9375
6	K, in	1,32
7	L, in	1,32
8	B, in	1,05

(sumber : Lloyd E. Brownell and Edwin H. Young)

- *Impeller*

$$\text{Diameter } \textit{impeller} = 0,3 \times Dt \quad (12)$$

$$\text{Lebar } \textit{impeller} = 0,2 \times d \quad (13)$$

$$\text{Tinggi } \textit{impeller} \text{ dari dasar} = 0,33 \times Dt \quad (14)$$

$$\text{Panjang } \textit{impeller} = 0,25 \times 3,15 \quad (15)$$

- Baffle

$$\text{Lebar } \textit{baffle} = \frac{Dt}{12} \quad (16)$$

$$\text{Panjang } \textit{baffle} = Lls - \frac{Dt}{2} \quad (17)$$

$$\text{Jarak dinding ke baffle} = \frac{w}{6} \quad (18)$$

- Agitator

$$\text{Panjang agitator} = \text{Tinggi tanki} \times \frac{H}{6} \quad (19)$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{H}{2 \times di} \quad (20)$$

- Luas Perpindahan Panas yang Dibutuhkan

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \log \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (21)$$

$$A = \frac{Q}{Ud \times \Delta T_{LMTD}} \quad (22)$$

- Luas Perpindahan yang Tersedia

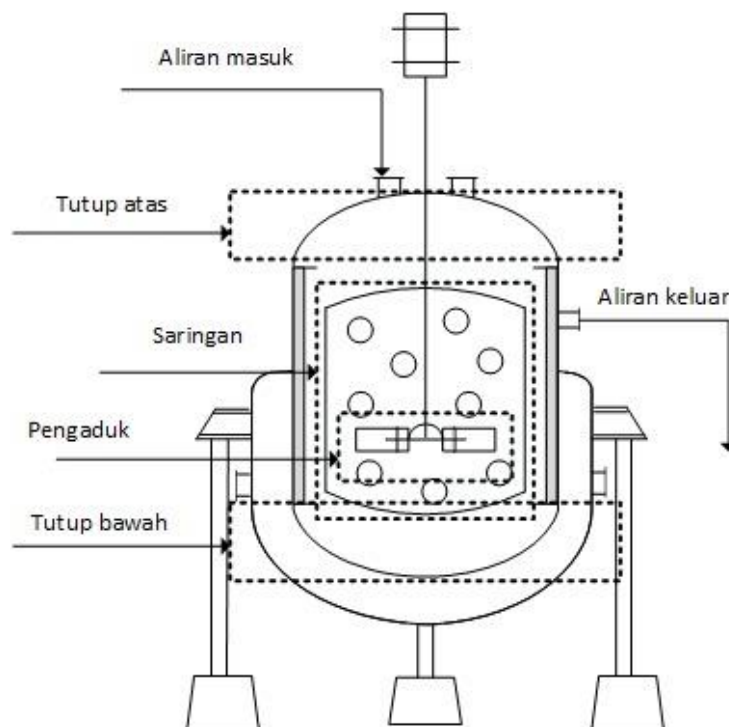
$$A = \text{Luas selimut} + \text{Luas penampung bawah} \quad (22)$$

Dihasilkan A yang dibutuhkan lebih rendah daripada nilai A yang tersedia, maka jaket pemanas dapat digunakan dalam tangki maserasi.

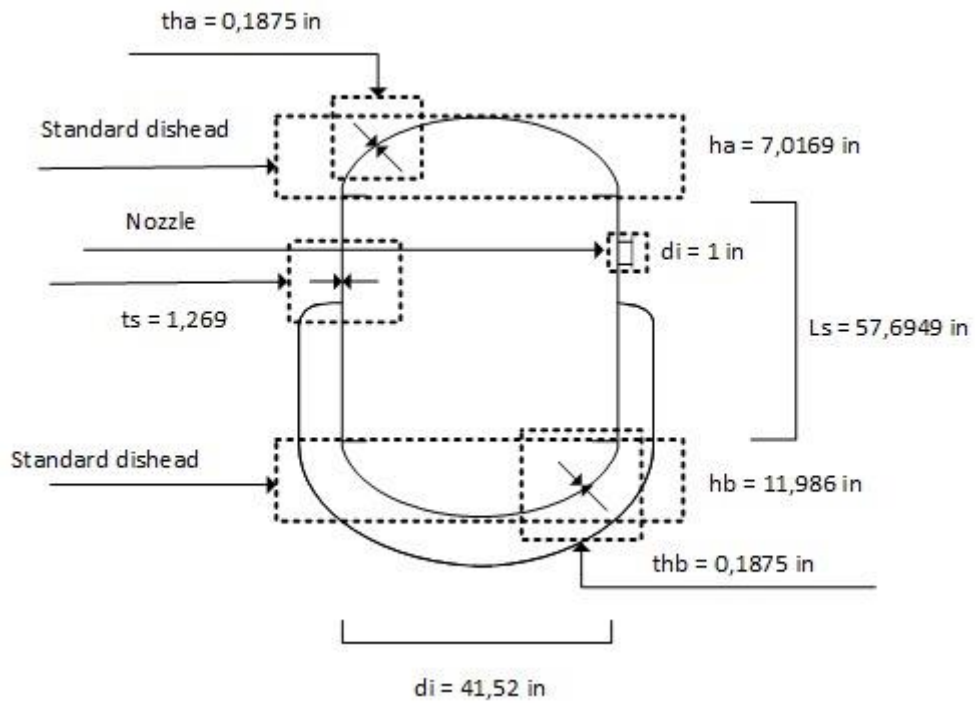
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

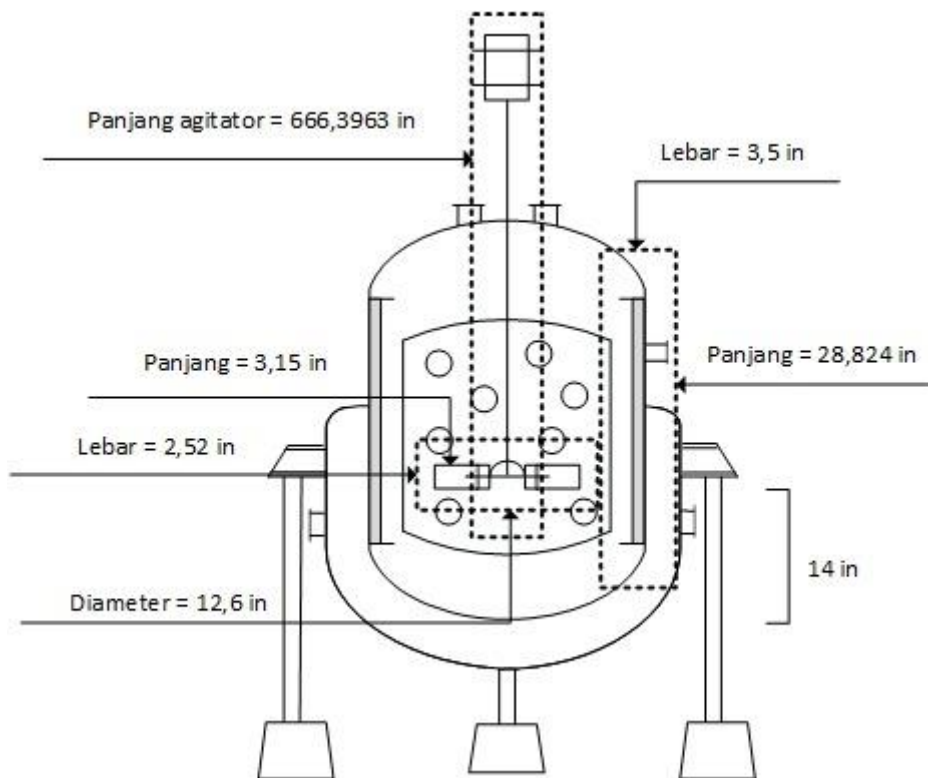
Hasil dari perhitungan pada penelitian ini akan dipaparkan dalam Tabel 3 sebagai berikut :



Gambar 2. Desain tangki



Gambar 3. Dimensi Reaktor



Gambar 4. Dimensi Impeller

Tabel 3. Spesifikasi tangki maserasi

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Volume liquid, ft ³	38,8682
2	Volume total, ft ³	51,8243
3	P alat, atm	16,2483
4	Jumlah pengaduk	6
5	Jumlah leg	4
6	Tinggi leg, in	68,6771
7	ΔT_{LMTD} , f ^o	79,5677
8	A dibutuhkan, ft ³	41,9077
9	A tersedia, ft ³	70,9027

3.2. Pembahasan

Beberapa data diperlukan dalam perancangan tangki maserasi, diantaranya adalah viskositas, densitas, waktu tinggal, tekanan, suhu operasi, *allowable stress* (f), faktor korosi, laju alir massa, dan bentuk dari tangki itu sendiri. Suhu maserasi untuk menghasilkan ekstrak sebagai sumber saponin terbanyak disarankan menggunakan suhu 50°C [19]. Data viskositas dan densitas didapatkan dari melakukan percobaan dari biopestisida yang dihasilkan. Data waktu tinggal diperoleh dari percobaan pada sub bab pengumpulan data penelitian ini. *Allowable stress*, faktor korosi, dan bentuk tangki diperoleh dari buku referensi [18]. Laju alir massa didapatkan dari perhitungan neraca massa. Masing masing dapat digunakan dalam perhitungan yang akan menunjang spesifikasi tangki maserasi seperti laju alir massa dan waktu tinggal digunakan untuk menghitung *volume liquid*, tekanan akan digunakan dalam perhitungan tekanan alat, faktor korosi, *allowable stress*, dan faktor pengelasan akan digunakan untuk perhitungan ketebalan silinder/tangki. Densitas digunakan untuk perhitungan *nozzle*, viskositas digunakan untuk mengetahui *Number Reynolds* (NRE), dan bentuk tangki digunakan untuk menghitung tebal tutup atas dan tebal tutup bawah pada tangki.

Pada penelitian ini penambahan jaket pemanas dan waktu tinggal yang lebih cepat dalam proses maserasi yaitu 30 menit dapat digunakan. Hal ini ditunjukkan bahwa nilai A (luas penampang) yang dibutuhkan adalah 41,9077 ft² sedangkan nilai A yang tersedia adalah 70,9027 ft².

Nilai A yang dibutuhkan diperoleh dari hasil bagi dari Q yaitu *flowrate* dalam satuan BTU/jam dibagi dengan hasil kali Ud dengan ΔT_{LMTD} . Ud adalah koefisien perpindahan kalor yang direncanakan sedangkan ΔT_{LMTD} adalah beda suhu rata rata yang diperoleh dari perubahan suhu yang terjadi didalam tangki maserasi. Sedangkan nilai A yang tersedia diperoleh dari penjumlahan luas selimut dengan luas penampang bawah. Rumus luas selimut adalah $\pi \times do \times H$ sedangkan rumus luas penampang bawah adalah $x = \frac{\pi}{4} \times do^2$.

Jenis fluida yang berada di dalam tangki maserator memiliki nilai viskositas 0,0001814 lb/ft.s dan memiliki densitas 53,6987 lb/ft³. Berdasarkan data tersebut jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan tangki yang sesuai adalah *Carbon steel SA 167 grade 11 type 316* hal ini karena memiliki *allowable stress* yang cukup besar. Berdasarkan

perhitungan didapatkan hasil dimensi tangki maserator menggunakan jenis *standard dishead* tutup atas dan tutup bawah. Bentuk tangki adalah silinder dan memiliki tinggi 1,948 m. Tangki maserator dilengkapi *impeller* dengan jenis *six blade open turbin* yang berguna untuk membantu proses maserasi dan mengurangi pengendapan akibat proses maserasi yang membutuhkan waktu tinggal.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan studi perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perancangan tangki maserator untuk proses maserasi limbah kulit bawang merah menjadi biopestisida dengan kapasitas 15.000 ton/tahun adalah jenis tangki dengan pengaduk dan tambahan alat penampung limbah kulit bawang merah agar memudahkan proses pemindahan limbah kulit bawang merah yang sudah dimaserasi. Spesifikasi tangki maserator berdasarkan studi perhitungan didapatkan jenis tangki dengan tutup atas dan bawah *standard dishead* dengan tinggi tangki 1,948 m, tebal tangki 0,0098 m, dan diameter tangki 1,05 m. Hal ini disesuaikan dengan kondisi fluida di dalam tangki maserator berupa hasil biopestisida yang memiliki viskositas 0,0001814 lb/ft.s dan memiliki densitas 53,6987 lb/ft³. Penambahan jaket pemanas dan pengaduk dengan tipe *six blade open* turbin dapat ditambahkan dalam tangka maserasi agar dapat mempercepat proses maserasi.

Saran untuk penelitian selanjutnya menggunakan kapasitas produksi yang berbeda. Hal ini dikarenakan kapasitas produksi berpengaruh terhadap spesifikasi alat maserasi yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] M. N. Nadziroh, "Peran Sektor Pertanian Dalam Pertumbuhan Ekonomi Di Kabupaten Magetan," *J. Agristan*, vol. 2, no. 1, pp. 52–60, 2020.
- [2] U. Isbah and R. Y. Iyan, "Analisis Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian dan Kesempatan Kerja di Provinsi Riau," *J. Sos. Ekon. Pembang.*, vol. Tahun VII, no. 19, pp. 45–54, 2016.
- [3] A. Wiyanto, "Pembuatan Pestisida Nabati dari Mimba dan Mahoni," *J. Teknol.*, pp. 1–14, 2022.
- [4] E. Yennie and S. Elystia, "Pembuatan Pestisida Organik Menggunakan Metode Ekstraksi Dari Sampah Daun Pepaya Dan Umbi Bawang Putih," *J. Dampak*, vol. 10, no. 1, p. 46, 2013.
- [5] P. Mahardhika and A. Ratnasari, "Perancangan Tangki Stainless Steel untuk Penyimpanan Minyak Kelapa Murni," *J. Teknol. Rekayasa*, vol. 3, no. 1, pp. 39–46, 2018.
- [6] C. Ilyazha, A. S. Suryandari, J. T. Kimia, P. N. Malang, J. Soekarno, and H. No, "Minyak Kelapa Pada Pra Rancangan Pabrik Sabun Cair Kapasitas 750 Ton/Tahun," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 9, pp. 585–591, 2021.
- [7] D. R. Badaring, S. P. M. Sari, S. Nurhabiba, W. Wulan, and S. A. R. Lembang, "Uji Ekstrak Daun Maja (*Aegle marmelos* L.) terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*," *Indones. J. Fundam. Sci.*, vol. 6, no. 1, p. 16, 2020.
- [8] H. A. Luhur P, E. S. Hadi, and W. Amiruddin, "Analisis Kekuatan Tangki Silinder 38T-104

- PT. Pertamina RU IV Kapasitas 120.000 m³ Dengan Variasi Diameter Tangki,” *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [9] K. S. Nugraha, M. Ari, M. Karim, and A. Amin, “Desain tangki timbun external floating roof kapasitas 75000 MT,” *J. Weld. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 51–56, 2020.
- [10] E. Y. Yunus, A. K. Hamdana, Y. Wicaksono, B. S. Zunaidi, and A. A. Arliansyah, “Pendayagunaan Limbah Kulit Bawang Merah sebagai Bahan Pembuatan Pestisida Organik pada Desa Sekarkare,” *J. Pengabd. Kpd. Masy. Nusant.*, vol. 3, no. 1, pp. 216–219, 2022.
- [11] S. Mulyati, “Efektivitas Pestisida Alami Kulit Bawang Merah Terhadap Pengendalian Hama Ulat Tritip (*Plutella Xylostella*) Pada Tanaman Sayur Sawi Hijau the Effectiveness of Natural Pesticides on Onion Leather on the Control of Tritipwater (*Plutella Xylostella*) in Green,” *Journal Of Nursing and Public Health*, vol. 8, no. 2, pp. 79–86, 2020.
- [12] I. Fadhil, T. Rahayu, and A. Hayati, “Pengaruh Kulit Bawang Merah (*Allium cepa* L.) Sebagai Zpt Alami Terhadap Pembentukan Akar Stek Pucuk Tanaman Krisan (*Chrysanthemum* sp),” *J. SAINS ALAMI (Known Nature)*, vol. 1, no. 1, pp. 34–38, 2018.
- [13] R. Nurjismi, dan Carta, and P. Pengembangan Benih dan Proteksi Tanaman Dinas Kelautan Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi DKI Jakarta, “Penghambatan Actinomycetes Asal Limbah Kulit Bawang Merah terhadap *Sclerotium Rolfsii* Secara In Vitro,” *J. Ilm. Respati*, vol. 10, no. 1, pp. 14–19, 2019.
- [14] E. Amelinda, I. W. R. Widarta, and L. P. T. Darmayanti, “Pengaruh Waktu Maserasi Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rimpang Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.),” *J. Ilmu dan Teknol. Pangan*, vol. 7, no. 4, pp. 165–174, 2018.
- [15] F. A. Murthado and A. S. Suryandari, “Perancangan Reaktor Kontinyu Untuk Reaksi Saponifikasi Menggunakan Minyak Kelapa Sawit,” *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 237–245, 2021.
- [16] C. W. Yuwono and T. Soehartanto, “Perancangan Sistem Pengaduk Pada Bioreaktor Batch untuk Meningkatkan Produksi Biogas,” *J. Tek. POMITS , No. 1, ISSN 2337-3539 (2301-9271 Print)*, vol. Vol. 2, no. 1, 2013.
- [17] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*, 21st ed. Hamburg: McGraw-Hill Book Company, 1983.
- [18] L. E. Brownell and E. H. Young, *Equipment Design*, United States of America, 1959.
- [19] S. Chairunnisa, N. M. Wartini, L. Suhendra, F. T. Pertanian, U. Udayana, and K. Bukit, “Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (*Ziziphus mauritiana* L.) sebagai Sumber Saponin,” *J. Rekayasa dan Manaj. Agroindustri*, vol. 7, no. 4, pp. 551–560, 2019.