

Potensi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu sebagai Langkah Mendukung Industri Berkelanjutan

Potential of Tofu Industrial Wastewater Treatment as a Step to Support Sustainable Industry

Rahmiah Sjafruddin^{1)*}, Muhammad Ardi²⁾, Muhammad Arsyad²⁾

¹⁾ Teknik Kimia/Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan, PNUP

²⁾ Program Pascasarjana, Universitas Negeri Makassar

ABSTRAK

Tujuan penelitian dengan mengkaji potensi air limbah industri tahu (*whey*) menjadi suatu produk yang bernilai ekonomi bagi masyarakat. Penelitian dilakukan dengan metode survey untuk mengidentifikasi produksi air limbah *whey* pada industri tahu dan dilanjutkan dengan eksperimen karakterisasi dan pengolahan air limbah *whey* dengan skala laboratorium. Air limbah *whey* diolah dengan menggunakan biodigester anaerob sarang lebah (*Honeycomb Biodigester*) dengan kapasitas 120 liter. Tahapan penelitian dengan melakukan pembuatan starter dari campuran kotoran sapi, air, dan air limbah *whey* (3:1:1) yang difermentasi selama 21 hari. Setelah starter memperlihatkan pertumbuhan mikroorganisme (MO) berada pada fase log, maka dilanjutkan dengan pengumpanan air limbah *whey* sebanyak satu liter setiap hari. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa air limbah *whey* mengandung protein 0,9482%, karbohidrat 0,4473% dan lemak 0,2186% yang merupakan substrat bagi MO. Pengolahan air limbah *whey* secara anaerob dengan menggunakan *Honeycomb Biodigester* menghasilkan biogas dengan nyala api merah biru (gas metana > 45%) sampai hari ke 21. Kemudian slury *Honeycomb Biodigester* mengandung senyawa urea yang merupakan kandungan pupuk. Oleh karena itu, potensi pengolahan air limbah *whey* dapat menghasilkan energi terbarukan (biogas), pupuk organik cair dan padat dengan kandungan vitamin E dan *tiophosphatoethyl aminohexylurea* (unsur N dan P) serta menjadi solusi dalam penanganan pencemaran lingkungan, sehingga tercipta industri yang berkelanjutan.

Kata kunci: Biogas, Pupuk organik, Sarang lebah, *Whey*.

ABSTRACT

The research aims to examine the potential of tofu industry wastewater (whey) to become a product of economic value for society. The research was carried out using a survey method to identify whey wastewater production in the tofu industry and continued with experiments on the characterization and processing of whey wastewater on a laboratory scale. Whey wastewater is processed using a honeycomb anaerobic biodigester with a capacity of 120 liters. The research stage involves making a starter from a mixture of cow dung, water, and whey wastewater (3:1:1) which is fermented for 21 days. After the starter shows that the growth of microorganisms (MO) is in the log, it is continued with one liter of whey

* Korespondensi:

email: rahmiah.sjafruddin@poliupg.ac.id

wastewater every day. The results obtained show that whey wastewater contains protein 0,9482%, carbohydrate 0,4473% and fat 0,2186% which is a substrate for MO. Anaerobic processing of whey wastewater using a honeycomb anaerobic biodigester produces biogas with a blue flame (methane gas > 45%). Then the Honeycomb biodigester slurry contains urea compounds which are fertilizer ingredients. Therefore, the potential for processing whey wastewater can produce renewable energy (biogas), liquid and solid organic fertilizer containing vitamin E and thiophosphatoethyl aminohexylurea (N and P elements) as well as being a solution for handling environmental pollution, thereby creating a sustainable.

Keywords: Biogas, organic fertilizer, Honeycomb, whey.

PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan suatu usaha yang memiliki prospek bisnis yang sangat menjanjikan. Pada masa pandemik yang berlangsung sekitar dua tahun, di mana industri tahu masih mampu bertahan dengan situasi yang sulit. Menurut data BPS (2021) konsumsi rata-rata tahu per kapita sebesar 0,158 kg setiap minggunya yang mana memperlihatkan ada kenaikan jumlah sekitar 3,27% dibanding untuk Tahun 2020 sebesar 0,153 kg setiap minggu. Data konsumsi tahu di masa pandemik yang dirilis badan pusat statistik terlihat tidak mengalami penurunan yang signifikan dengan data sebelum masa pandemik antara tahun 2017 – 2018 dengan rata-rata konsumsi pada kisaran 0,157 – 0,158 kg per minggu. Data konsumsi tahu memberikan gambaran bahwa minat masyarakat terhadap bahan pangan sumber protein nabati sangat diminati. Tahu merupakan bahan pangan berbahan kedelai dengan kategori makanan tradisional yang populer terutama di Asia yakni negara Asia Timur dan Asia Tenggara serta berkembang ke Eropa (Chua & Liu, 2019). Penerimaan yang baik bagi konsumen tahu karena rasa yang enak, harga terjangkau dan nilai gizi dengan manfaat terhadap kesehatan yang tinggi. Disamping itu, tahu juga disukai semua kalangan baik masyarakat dengan ekonomi menengah atas maupun ekonomi menengah bawah. Kebutuhan masyarakat akan ketersediaan tahu sebagai sumber bahan pangan kaya protein nabati mendorong berkembangnya industri tahu baik diperkotaan maupun di pedesaan.

Perkembangan industri tahu memberikan dampak positif dengan adanya pertumbuhan ekonomi bagi masyarakat dan ketersediaan bahan pangan nabati kaya protein. Namun selain dampak positif, aktivitas industri tahu juga akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan dan kehidupan sosial jika tidak dikelola secara bertanggung jawab oleh para pelaku (pengusaha dan tenaga kerja) industri tahu. Aktivitas industri tahu menghasilkan sisa kegiatan (limbah) berupa limbah padat, cair dan gas. Limbah padat berupa ampas kedelai (okara), air limbah berupa air limbah whey (sisa penggumpalan sari kedelai) dan limbah gas/asap dari proses pembuatan steam. Menurut Pagoray, dkk., (2021) industri tahu dalam mengolah kedelai akan menghasilkan air limbah yang berasal dari sisa bubur kedelai (air tahu) yang tidak menjadi produk berupa endapan tahu, sementara menurut Sjafruddin, dkk., (2022), industri tahu menghasilkan air limbah terbesar pada proses pencucian, perendaman dan penggumpalan.

Komposisi air limbah yang dihasilkan dari setiap industri dipengaruhi dari kapasitas bahan baku, lingkungan dan metode pengolahan (Chua & Liu, 2019). Menurut Rajagukguk., (2020) produksi tahu dengan pengolahan kedelai sebesar 100-300 kg kedelai/hari menghasilkan air limbah sebanyak 800-2.400 liter/hari. Sementara menurut Hikmah dkk., (2019) pembuatan tahu dengan jumlah bahan baku satu ton kedelai akan menghasilkan limbah cair kurang lebih 8.500 liter. Menurut Chua & Liu, (2019), air limbah *whey* mengandung protein, gula sederhana, *oligosakarida*, mineral dan *isoflavone* kedelai. Kandungan air limbah *whey* didominasi bahan organik yang sangat tinggi. Bahan organik dapat dipantau melalui nilai *chemical oxygen demand* (COD) dan *biochemical oxygen demand* (BOD), total *suspended solid* (TSS), dan *volatile solid* (VS). Menurut Adisasmito, dkk., (2018), karakteristik air limbah industri tahu dengan nilai COD 7619 mg/L, TSS 1035 mg/L dan keasaman, pH 4. Sementara hasil penelitian Kim, *et.al* (2011) dengan karakteristik air limbah industri tahu berupa total *solid* (TS) sebesar 43.000 mg/l, *volatile solid* (VS) sebesar 41.300 mg/l, COD total sebesar 82.100 mg/l, dan pH sebesar 3-5. Sementara Sayow dkk., (2020) air limbah industri tahu memiliki nilai BOD₅ sekitar 5.000-10.000 mg/l, COD sekitar 7.000-12.000 mg/l, dan keasaman yang rendah yaitu pH 4-5. Nilai COD dan BOD yang sangat tinggi menggambarkan air limbah industri tahu dapat dikategorikan sebagai pencemar lingkungan dengan resiko tinggi. Penilaian tingkat pencemar air limbah ini dapat dibandingkan pada baku mutu yang diperbolehkan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 mengenai standar baku mutu air limbah yang diperbolehkan bagi industri pengolah kedelai menjadi tahu dengan nilai COD 300 mg/L dan BOD₅ sebesar 150 mg/, pH 6-9 dan TSS 200 mg/L.

Karakteristik air limbah industri tahu dengan kandungan bahan organik yang tinggi, maka proses pengolahan yang akan diterapkan adalah dengan menggunakan proses biologi dengan memanfaatkan mikroorganisme. Pemanfaatan mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa organik dapat dilakukan dengan biodigester aerob (reaktor terbuka) dan biodigester anaerob (reaktor kedap udara). Proses secara anaerob memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pengolahan biologi secara aerob. Diantara keuntungannya antara lain: (1) Degradasi senyawa organik berlangsung dengan maksimal, (2) Proses pengolahan *slurry* lumpur membutuhkan biaya rendah, (3) Sisa berupa *slurry* lumpur (biomass) memiliki karakteristik yang baik dan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dalam bentuk cair atau padat, (4) Biaya pengoperasian rendah karena tidak membutuhkan suplay oksigen dari luar. (5) Menghasilkan biogas, gas metana (CH₄) yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan, sehingga tidak berpotensi menjadi polusi udara. Biodigester anaerob type sarang lebah (*Honeycomb Biodigester*) dengan beberapa keunggulan yakni tidak memerlukan lokasi yang luas, zona biodigester dapat dibagi sesuai dengan kebutuhan kondisi operasi mikroorganisme, mengendalikan proses *washed out biomass* dan menjadi media lekat mikroorganisme (waktu tinggal cukup lama).

Tujuan pengolahan air limbah *whey* sebagai upaya mendukung industri berkelanjutan dan penyelamatan lingkungan. konsep keberlanjutan menurut Kroll & Prajal., (2019) difokuskan pada tiga pilar utama yakni keuntungan ekonomi (*profit*), sosial (*people*), dan lingkungan (*planet*) yang disingkat dengan 3P yang sejalan dengan konsep “*Tripel botton lines*” yang diungkapkan oleh Peter., (2010). Pencapaian Agenda 2030 yang menekankan

perlunya mendorong inovasi dan kebijakan yang dapat membuat kota dan komunitas kita lebih berkelanjutan. Dukungan keberlanjutan pada industri tahu dengan melakukan kajian pemanfaatan limbah yang dihasilkan salah satunya air *whey*. Pengolahan air *whey* menjadi produk biogas seperti yang dikaji oleh Iriani dkk., (2018) dengan menggunakan Biodigester anaerob *fed batch* menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana sebesar 74,05% dan volume biogas sebesar 48,55 L/hari.

METODE

Metode penelitian diawali dengan survey pada industri tahu di Makassar dengan mengidentifikasi air limbah sebagai produk samping dari proses penggumpalan (air *whey*). *Whey* diolah pada biodigester anaerob sarang lebah (*Honeycomb Biodigester*) dengan kapasitas 120 liter yang diproses secara *batch* dengan menggunakan starter. Pembuatan starter dari campuran kotoran sapi, air dan air limbah *whey* (3:1:1) yang difermentasi selama 21 hari. Langkah selanjutnya dengan pengumpanan air limbah *whey* secara bertahap (1 liter/hari). Pemantauan awal dilakukan dengan melakukan pengujian air *whey* dengan mengukur pH dan menganalisis kandungan senyawa organik berupa karbohidrat, protein, lemak dan nilai COD. Pemantauan proses fermentasi dilakukan pada produksi biogas dengan melakukan uji nyala dan pengujian lumpur (*slurry*) *Honeycomb Biodigester* sebagai produk samping yang dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Pengujian pH dengan alat ukur pH meter, analisis protein dengan metode *Kjeldahl*, lemak dengan metode Gravimetri (SNI 6989.10:2011), analisis karbohidrat secara *Luff schoorl* dan analisis nilai COD dengan metode *refluks* terbuka secara titrimetrik (SNI: 6989.15:2019) serta analisis kandungan *slurry* menggunakan spektrofotometer GC-MS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air limbah industri tahu

Industri tahu membutuhkan penggunaan air yang banyak dengan perbandingan kedelai dan kebutuhan air sekitar 1:10 (b/v). Menurut Sjafruddin, dkk. (2022), pada proses penggumpalan sari kedelai dengan asam cuka maka yang dapat menggumpal hanya sekitar 25% dan selebihnya 75% merupakan air *whey*. Air *whey* memiliki karakteristik seperti pada Tabel 1.

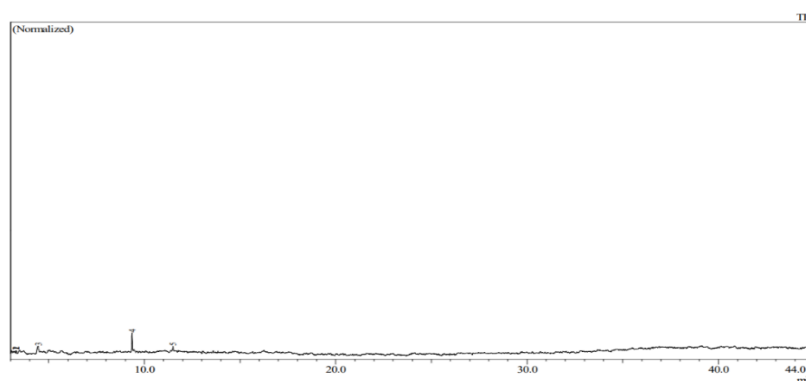
Tabel 1. Karakteristik air *whey*

Parameter	Besaran
Protein (%)	0,9482
Karbohidrat (%)	0,4473
Lemak (%)	0,2186
COD total (mg/L)	16.250
pH	4,08

Tabel 1, memberikan gambaran bahwa karakteristik air *whey* memiliki kandungan senyawa organik yang sangat tinggi (nilai COD 16,250 mg/L) dengan kandungan protein

0,9482%, karbohidrat 0,4473% dan lemak 0,2186%. Penentuan senyawa organik pada air *whey* diidentifikasi melalui uji GC-MC. Adapun senyawa organik dalam air *whey* dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1, memberikan gambaran bahwa karakteristik air *whey* memiliki kandungan senyawa organik yang sangat tinggi (nilai COD 16,250 mg/L) dengan kandungan protein 0,9482%, karbohidrat 0,4473% dan lemak 0,2186%. Penentuan senyawa organik pada air *whey* diidentifikasi melalui uji GC-MC. Adapun senyawa organik dalam air *whey* dapat dilihat pada Gambar 1.

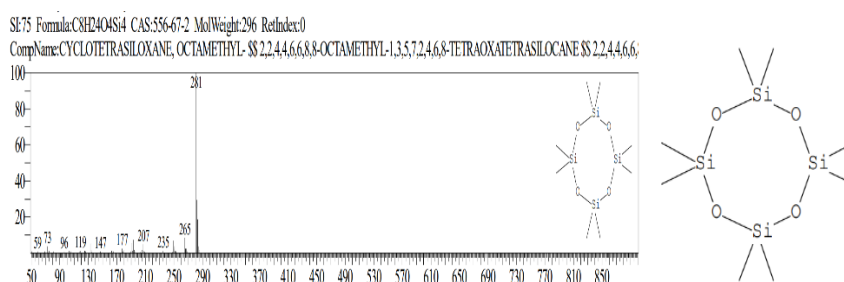


Gambar 1. Hasil kromatogram GC-MS pada air *whey*

Hasil uji kromatogram GC-MS pada air *whey* memperlihatkan ada 5 puncak (*peak*) senyawa organik yang teridentifikasi. Menurut Deublien (2008), senyawa dalam kelompok *siloxane* berpotensi ditemukan dalam kosmetik, deterjen, dan tinta. Adapun puncak (*peak*) senyawa tersebut adalah:

Peak Report TIC					
Peak#	R.Time	Area	Area%	A/H	Name
1	3.048	28337	5.47	2.20	CYCLOTRISILOXANE, HEXAMETHYL-
2	3.299	37998	7.33	2.43	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
3	4.446	196130	37.85	5.96	Oxime-, methoxy-phenyl-
4	9.351	213702	41.24	2.19	CYCLOTETRASILOXANE, OCTAMETHYL-
5	11.492	41997	8.10	1.88	Benzoic acid, 2-amino-3-hydroxy-, tris(trimethylsilyl) deriv.
		518164	100.00		

Senyawa organik dengan puncak (*peak*) tertinggi adalah senyawa *Cyclotetrasiloxane, octamethyl-* ($C_8H_{24}O_4Si_4$) dengan persen area 41,24% dengan berat molekul 296 g/mol. Menurut Deublien (2008), senyawa dalam kelompok *siloxane* berpotensi ditemukan dalam kosmetik, deterjen, dan tinta Adapun spektrum dan struktur molekul senyawa *Cyclotetrasiloxane, octamethyl* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum dan Struktur kimia *Cyclotetrasiloxane, octamethyl-* ($C_8H_{24}O_4Si_4$).

Lebih lanjut potensi air *whey*, melalui kajian Florence, dkk., (2018) menyatakan bahwa nilai COD dengan rentang 1000 – 30.000 mg/L adalah rentang yang dapat diolah dengan proses secara anaerob. Proses secara anaerob adalah pengolahan dengan menggunakan mikroorganisme (MO) yang tidak membutuhkan udara luar sehingga dibutuhkan biodigester kedap udara dengan produk berupa energi biogas. Keasaman rendah memungkinkan kemampuan pertumbuhan mikroorganisme metanogen terhambat. Kondisi ini, perlu dilakukan strategi agar mikroorganisme metanogen dapat tumbuh secara optimal di dalam biodigester dengan menggunakan starter campuran kotoran sapi dan air *whey* dengan menggunakan biodigester anaerob sarang lebah (*Honeycomb biodigester*) dengan pengumpanan secara bertahap.

Potensi air *whey* sebagai bahan energi terbarukan (biogas)

Air limbah *whey* dengan kandungan bahan organik (karbohidrat, lemak dan protein) yang tinggi dengan nilai COD sekitar 16.250 mg/L dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan energi terbarukan (biogas). Adapun reaksi yang berlangsung secara umum dapat dilihat pada persamaan reaksi:

Karbohidrat : $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$

Lemak : $C_{12}H_{24}O_6 + 3H_2O \rightarrow 4,5CO_2 + 7,5CH_4$

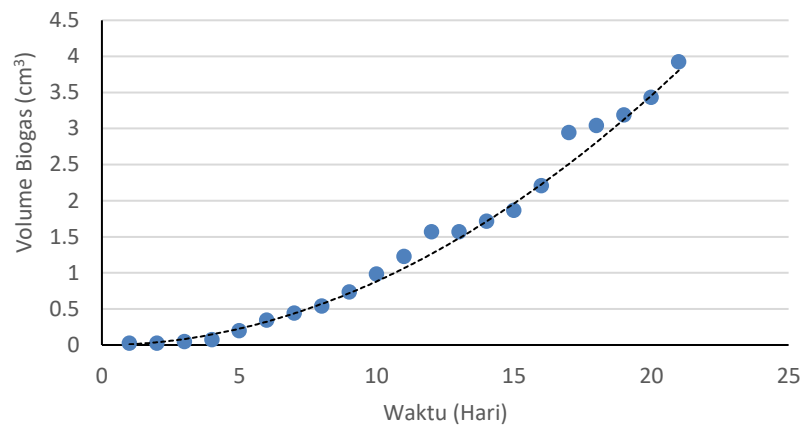
Protein : $C_{13}H_{25}O_7N_3S + 6H_2O \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4 + 3NH_3 + H_2S$

Biogas dapat dihasilkan melalui proses degradasi bahan organik oleh MO dengan menggunakan biodigester anaerob (kedap udara). Biodigester anaerob dirancang dengan menggunakan filter berbahan karbon aktif yang dipasang menyerupai sarang lebah (*Honeycomb biodigester*). Tujuan pemasangan sarang lebah berbahan karbon aktif untuk memberikan waktu tinggal yang lebih lama pada substrat (polutan) dan biomass (sel MO) terutama MO metanogenesis. Adapun hasil biogas pada proses pengolahan air *whey* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Honeycomb biodigester dan Uji nyala biogas dari air *whey*

Uji nyala pada produk biogas menghasilkan nyala yang stabil dengan nyala api merah biru dengan produksi biogas meningkat dari hari pertama sampai hari ke 21. Adapun produksi biogas pada proses pengolahan air l *whey* seperti pada Gambar 4.

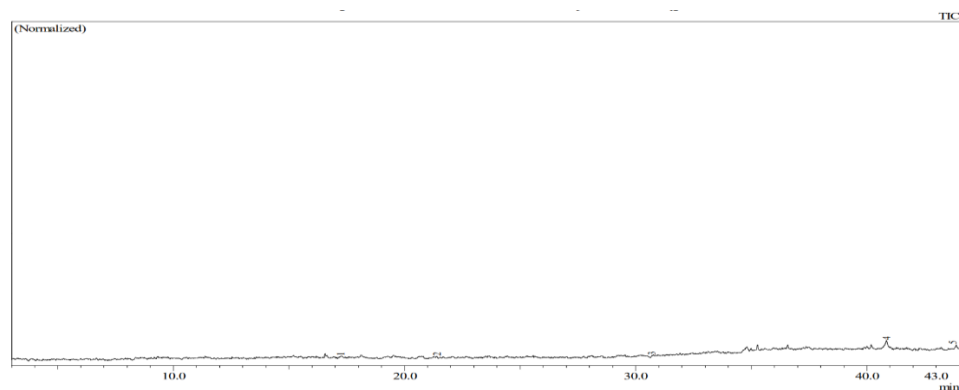


Gambar 4. Produksi biogas air whey

Produksi biogas dari hari pertama sampai hari ke 21 mengalami peningkatan dengan nyala api berwarna merah biru. Menurut Dueblein (2008), biogas dengan kandungan gas metana lebih tinggi dari 45% akan bersifat mudah terbakar. Hal ini sejalan dengan kajian yang dilakukan oleh Iriani (2018) pada pengolahan air limbah tahu menggunakan Biodigester anaerob *fed batch* menghasilkan biogas dengan kandungan gas metana sebesar 74,05% dan volume biogas sebesar 48,55 L/hari.

Potensi *slury* Honeycomb Biodigester Sebagai Pupuk Organik

Proses pengolahan secara anaerob menghasilkan lumpur (*slury*) yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Adapun hasil uji dengan menggunakan GC-MS memperlihatkan kandungan *slury* Honeycomb biodigester seperti pada Gambar 5.

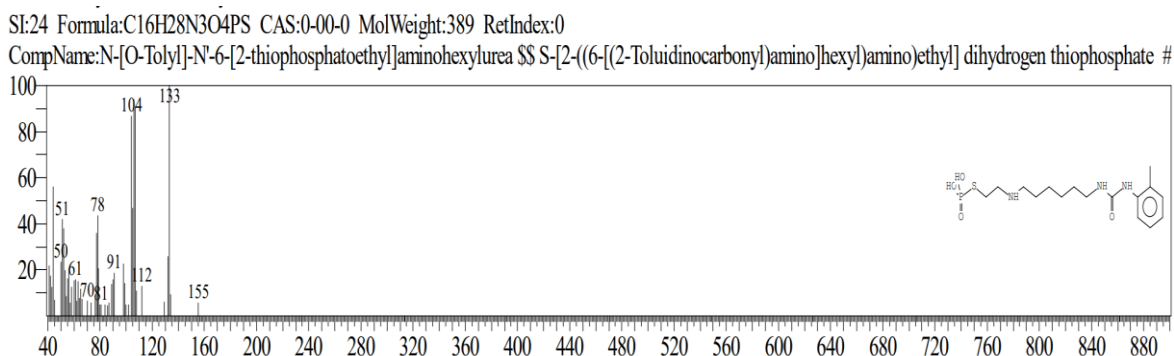


Gambar 5. Hasil kromatogram GC-MS pada *slury* Honeycomb biodigester

Uji *slury* Honeycomb biodigester dengan GC-MS memperlihatkan ada sekitar 5 puncak (*peak*). Adapun senyawa pada setiap puncak seperti di bawah ini:

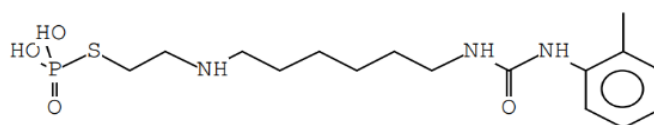
Peak Report TIC				
Peak#	R.Time	Area	Area%	A/H Name
1	17.233	93186	15.55	7.78 3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol
2	21.397	105662	17.63	9.49 N-[O-Tolyl]-N'-6-[2-thiophosphatoethyl]aminohexylurea
3	30.692	100669	16.80	10.93 n-Propyl 9-tetradecenoate
4	40.845	206247	34.41	5.75 Vitamin E
5	43.865	93605	15.62	4.82 Tricosanal
		599369	100.00	

Komponen bahan organik tertinggi adalah vitamin E (34,41%) dan senyawa *thiophosphatoethyl aminohexylurea* (17,65%). Adapun spektrum hasil GC-MC seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Spektrum GC-MS slury Honeycomb Biodigester

thiophosphatoethyl aminohexylurea memiliki rumus kimia $C_{16}H_{28}N_3O_4PS$ dengan struktur seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur kimia hasil uji GC-MS

Kandungan terbesar pada *slury* keluaran Honeycomb Biodigester adalah vitamin E dan urea *Thiophosphatoethyl aminohexylurea*. Kandungan ini merupakan bahan yang diharapkan ada di dalam pupuk organik berupa unsur N dan P.

KESIMPULAN

Potensi pengolahan air *whey* menghasilkan energi terbarukan (biogas) sampai hari ke 21 mengalami peningkatan dengan nyala api merah biru (gas metana > 45%) dan *slury Honeycomb Biodigester* mengandung senyawa yang merupakan bahan pupuk organik diantaranya kandungan vitamin E, urea *Thiophosphatoethyl aminohexylurea* (unsur N dan P) yang bernilai ekonomi bagi masyarakat. Kajian air *whey* sebagai bahan baku pembuatan biogas menjadi solusi dalam penanganan pencemaran lingkungan, sehingga tercipta industri yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisasmito S., Rasrendra C. B., Chandra H., & Gunartono M. A. (2018). Anaerobic reactor for Indonesian tofu wastewater treatment. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.26), 30-32.
- Badan Pusat Statistik. (2021). Rata-rata konsumsi per kapita seminggu beberapa macam bahan makanan penting diantaranya konsumsi tahu dari Tahun 2007-2021.

- Chua, J. Y. & Liu S. Q. (2019). Soy whey: More than just wastewater from tofu and soy protein isolate industry. *Trends in Food Science & Technology*. S0924224418308197–doi:10.1016/j.tifs.2019.06.01
- Deublein, D. & Steinhauser, A. (2008). Biogas from waste and renewable resources. 2nd Ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim.
- Florence T. N. S., Halimatuddahlia, & Amir H. (2018). Pengolahan limbah cair tahu menggunakan bioreaktor anaerob satu tahap dan dua tahap secara batch. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 7(1), 34–40. <https://doi.org/10.32734/jtk.v7i1.1634>.
- Hikma, S. F., Rahman, A., Kholiq, I. N., Andriani, Z.Z.D. (2019). Teknologi pengolahan limbah industri tahu sebagai upaya pengembangan usaha kecil menengah (ukm) di kecamatan gambiran kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Hukum Islam, Ekonomi dan Bisnis*, 5(1), 53-71. ISSN: 2599-3348 (online) ISSN: 2460-0083 (cetak),
- Kim, D. H., Lee, Y. D., & Kim, M. S. (2011). Enhanced biohydrogen production from tofu residue by acid/base pretreatment and sewage sludge addition. *Science Direct. International Journal of Hydrogen Energy*, 36. 13922-13927.
- Kroll, A. W. & Prajal, P. (2019). Sustainable development goals (SDGs): Are we successful in turning trade-offs into synergies. *Jurnal Palgrave Communications*, ISSN: 2055-1045., Publishr Springer US. DOI: 10.1057/s41599-019-0335-5
- Pagoray, H. (2021). Limbah cair industri tahu dan dampaknya terhadap kualitas air dan biota perairan. 9(1), 53–65.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah cair. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup, 2014.
- Iriani, P., Utami, S., Suprianti, Y. (2018). Biomethanation of tofu liquid waste using two-stage anaerobic fermentation system. AIP Conference Proceedings 020005 <https://doi.org/10.1063/1.5062722>.
- Rajagukguk, K. (2020). Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas menggunakan reaktor biogas portabel. 1(2), 63–71.
- Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., Augustine, K. D. (2020). Analisis kandungan limbah industri tahu dan tempe rahayu di kelurahan uner kecamatan kawangkoan kabupaten minahasa. *Jurnal Agro-sosial-ekonomi Unstrat*, 16(2), 245-252. ISSN (p) 1907-4298, ISSN 2685-0,
- Sjafruddin, R., Agustang, A. & Nurlita, P. (2022). Estimasi limbah industri tahu dan kajian penerapan sistem produksi bersih. *Jurnal Mandala* 8(2), 1229–1237.
- Peter, F., 2010. People, Planet, Profit How to embrace sustainability for innovation and business growth., ISBN: 978 0 7494 5411 1. E-ISBN 978 0 7494 5863 8. London N1 9JN Philadelphia PA 19147 United Kingdom USA New Delhi 110002 www.koganpage.com India