

PENURUNAN KANDUNGAN POLUTAN PADA AIR LIMBAH INDUSTRI TEMPE MENGGUNAKAN *MOVING BED BIOFILM* REACTOR (MBBR)

Nadhira Alisa dan Yayok Suryo Purnomo

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: alisanadhira98@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini usaha *home industry* tempe sedang berkembang. Limbah yang dihasilkan dari industri tempe akan menjadi suatu permasalahan bagi lingkungan. Pengolahan air limbah industri tempe dapat dilakukan dengan cara pengolahan biologis karena dapat menurunkan kandungan organik pada air limbah. Salah satu pengolahan biologis yang dapat digunakan yaitu proses *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Proses MBBR pada prinsipnya adalah proses lumpur aktif yang ditingkatkan dengan adanya penambahan media yang bergerak dan aerasi pada reaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja MBBR dalam menurunkan kandungan COD, BOD₅, TSS, NH₃, dan PO₄ pada air limbah tempe. Media yang digunakan adalah Kaldnes K1 dengan variasi jumlah media yaitu tanpa media (0%), 20%, dan 40%. Variasi selanjutnya adalah aerator yaitu aerator gelembung kasar dan aerator gelembung halus. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kemampuan MBBR paling optimum pada variasi media 40% dan aerator gelembung halus di waktu sampling 8 jam. Reaktor MBBR mampu menurunkan COD sebesar 87.89%, BOD₅ sebesar 86.91%, TSS sebesar 85.63%, NH₃ sebesar 87.98%, dan PO₄ sebesar 82.93%.

Kata kunci: *Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Kaldnes K1, Air Limbah Tempe.*

ABSTRACT

Currently the tempe home industry business is developing. Waste from tempe industry will be a problem for the environment. Tempe industry wastewater treatment can be done by biological treatment because it can reduce organic content in wastewater. One biological treatment that can be used is the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). The MBBR process in principle is an activated sludge process that is enhanced by the addition of moving media and aeration to the reactor. This research aims to know the performance of MBBR in reducing COD, BOD₅, TSS, NH₃, and PO₄ content in tempe wastewater. Using Kaldnes K1 for media treatment and variations in the amount of media including without media (0%), 20%, and 40%. The next variation is aerator that are specified as coarse bubble aerator and fine bubble aerator. The results of this research indicate that the most optimum MBBR ability at 40% media variation and fine bubble aerator at a sampling time of 8 hours. The MBBR reactor can reduce COD by 87.89%, BOD₅ by 86.91%, TSS by 85.63%, NH₃ by 87.98%, dan PO₄ by 82.93%.

Keywords: *Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Kaldnes K1, Tempe Wastewater.*

PENDAHULUAN

Tempe merupakan produk olahan yang digemari oleh sebagian besar masyarakat Indonesia. Dengan bahan baku kedelai yang mudah didapat dan proses produksi yang sederhana, menjadikan tempe sebagai hasil olahan yang menjanjikan untuk dijadikan sebuah usaha. Pada saat ini usaha *home industry* tempe banyak tersebar diberbagai wilayah di Indonesia. Bahkan terdapat kampung yang hampir semua warganya bermata pencaharian sebagai produsen tempe. Semakin banyak yang mendirikan *home industry* tempe, semakin banyak pula limbah yang akan dihasilkan dari kegiatan produksi tersebut. Hasil dari kegiatan ini akan menghasilkan hasil samping yaitu limbah buangan yang berupa limbah cair dan padat. Sumber utama dari limbah cair industri tempe bisa berasal dari air pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai.

Pada usaha *home industry* tempe belum ada pengolahan yang dilakukan untuk mengolah limbahnya, para produsen tempe langsung membuang air limbah ke sungai yang ada di sana dan tentunya akan mencemari lingkungan. Hal ini akan menjadikan sebuah permasalahan yang perlu diperhatikan. Sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 73 Tahun 2013 Lampiran I, pada limbah cair industri tempe terdapat beberapa parameter yaitu BOD, COD, TSS dan pH yang apabila langsung dibuang ke sungai atau badan air akan menyebabkan pencemaran air jika tanpa pengolahan terlebih dahulu. Parameter diluar baku mutu seperti NH_3 dan PO_4 juga perlu diolah. Oleh karena itu, pengolahan untuk air limbah industri tempe sangat diperlukan agar nantinya tidak mencemari lingkungan jika dibuang ke badan air atau sungai. Proses pengolahan yang dapat digunakan untuk mengolah kandungan tersebut yaitu proses pengolahan secara biologi. Salah satu proses pengolahannya yaitu dengan menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang prinsipnya merupakan proses lumpur aktif dengan penambahan media dan adanya proses aerasi di dalam reaktor. Penambahan media ke dalam reaktor akan menjadikan proses pertumbuhan biologis mikroba dengan biakan tersuspensi dan biakan melekat secara bersamaan. Diharapkan juga selain meningkatkan jumlah mikroorganisme untuk menguraikan polutan juga akan meratakan

suplai oksigen sehingga kemampuan penyerapan oksigen lebih besar dan akan lebih optimal dalam penghilangan kadar polutan (Said & Sya'bani, 2014).

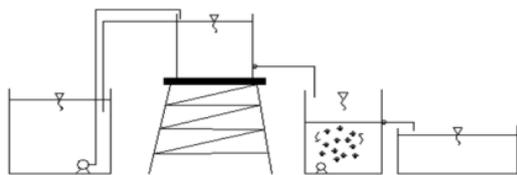
Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu Kaldnes K1. Media ini terbuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan berat jenis $\pm 0,95 \text{ g/cm}^3$ yang memiliki panjang 7 mm dan diameter 10 mm dengan bentuk menyilang di di dalam silinder dan sirip memanjang di luar. Luas permukaan spesifik media adalah sekitar $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, cukup besar untuk tempat melekatnya bakteri (Metcalf, 2003)

Tujuan dari penelitian MBBR ini yaitu untuk mengetahui kinerja MBBR dalam menurunkan kandungan COD, BOD, TSS, NH_3 , dan PO_4 pada air limbah tempe.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Reaktor

Pada penelitian ini reaktor yang digunakan terdiri dari bak penampung awal dengan volume 80 liter, bak pengatur debit dengan volume 50 liter, reaktor MBBR dengan volume 16 liter, dan bak penampung effluen dengan volume 16 liter. Bak penampung awal digunakan untuk menampung air limbah awal sebelum disalurkan ke bak selanjutnya. Dari bak penampung awal akan dipompa menuju bak pengatur debit. Di bak pengatur debit terjadi pengaturan debit air limbah untuk dialirkan ke reaktor MBBR. Reaktor MBBR adalah lanjutan dari bak pengatur debit, pada reaktor MBBR diisi media untuk pertumbuhan mikroorganismenya. Yang terakhir bak penampung effluen untuk menampung effluen dari reaktor MBBR. Reaktor yang digunakan memiliki volume 16 L, tetapi volume air limbah yang digunakan pada penelitian ini yaitu 10 L. Media yang digunakan adalah Kaldnes K1 dan juga terdapat aerator di dalam reaktor untuk mengaduk media dan menginjeksikan udara. Reaktor MBBR dioperasikan dengan sistem *continues*, dimana di dalam reaktor aliran air yang masuk, diaduk sempurna, diolah, dan dikeluarkan (Farahdiba et al., 2019).



Gambar 1 Reaktor MBBR

Proses *Seeding* dan Aklimatisasi

Proses *seeding* (pembiasaan) dilakukan pada penelitian ini untuk mengembangkan mikroorganisme pada media. Proses *seeding* dilakukan dengan sistem *batch* selama ± 18 hari sampai biofilm terbentuk pada media Kaldnes K1 dengan ditandai perubahan warna pada media. Media akan berubah warna menjadi kecoklatan dan adanya lapisan biofilm yang mulai menebal menyelimuti permukaan media. Proses ini dilakukan dengan cara menginjeksikan udara menggunakan aerator ke dalam reaktor MBBR yang sudah terisi media. Injeksi udara tersebut agar proses oksidasi biologi yang dilakukan mikroba dapat berjalan baik. Lanjutan dari proses *seeding* tersebut adalah proses aklimatisasi. Tujuan dari proses aklimatisasi adalah untuk mendapatkan mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan air limbah yang dialirkan dalam reaktor. Akhir dari aklimatisasi ditandai dengan penurunan pada parameter uji. Setelah aklimatisasi selesai, akan dilanjutkan untuk proses *running*.

Penelitian Utama

Setelah berakhirnya proses *seeding* dan aklimatisasi. Proses *running* dilakukan dua jenis yaitu *batch* dan *continue*. *Running* secara *batch* dengan memvariasikan volume media dan aerator. Volume media yang digunakan pada reaktor MBBR ini adalah 0% (tanpa media), 20%, dan 40% dari total volume limbah. Aerator dibedakan dengan menggunakan aerator gelembung kasar (*coarse bubble aerator*) dan aerator gelembung halus (*fine bubble aerator*). Aerator gelembung halus menggunakan aerator kayu, sedangkan aerator gelembung kasar menggunakan aerator batu. Aerator digunakan untuk injeksi udara dan menggerakkan media secara turbulensi. Proses *running* secara *continue* dengan mengambil hasil terbaik dari variasi media dan aerator. Debit yang digunakan yaitu 37 l/menit, dengan debit tersebut dapat dihitung waktu kontak untuk penelitian MBBR yaitu 4,5 jam. Pada

penelitian MBBR, kriteria perencanaan untuk waktu detensi yaitu 3,5-4,5 jam (Metcalf, 2003). Terdapat 5 waktu sampling pada proses ini, yaitu 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Setiap satu siklus proses berjalan, air limbah dianalisis kandungannya sebelum masuk reaktor (influen) dan setelah proses berakhir (effluen) untuk mengetahui penurunan kandungan polutannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Awal Karakteristik Air Limbah Tempe

Analisis awal meliputi, COD, BOD₅, dan TSS yang merupakan parameter utama dalam penelitian. Hasil analisis awal karakteristik air limbah tempe dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Analisis Awal Karakteristik Limbah Tempe

| No. | Parameter | Hasil |
|-----|------------------|--------------|
| 1 | COD | 1055,80 mg/L |
| 2 | BOD ₅ | 498,70 mg/L |
| 3 | TSS | 865,60 mg/L |

Sumber: Analisis, 2020

Pengaruh Media Terhadap Penurunan Kandungan Polutan

Penelitian berlangsung dengan menjalankan masing-masing reaktor sesuai dengan variasi volume media yang telah ditentukan. Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu Kaldnes K1. Pada reaktor 1 menggunakan variasi tanpa media, reaktor 2 dengan variasi volume media 20%, dan reaktor 3 dengan variasi volume media 40%. Berdasarkan variasi media tersebut dapat dilihat hasil removal untuk parameter BOD₅, NH₃, dan PO₄ pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Pengaruh Media Menggunakan Aerator Gelembung Kasar Dalam Proses MBBR (*Batch*) Terhadap Persen Removal

| Volume Media | Efisiensi % removal | | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Parameter Uji | | |
| | BOD ₅ | NH ₃ | PO ₄ |
| Tanpa media (0%) | 30,5% | 25,82% | 29,83% |
| Media 20% | 69,14% | 54,39% | 51,68% |
| Media 40% | 82,38% | 86,26% | 72,69% |

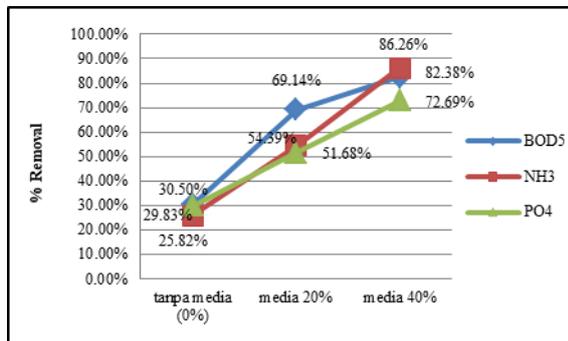
Sumber: Analisis, 2020

Tabel 3 Pengaruh Media Menggunakan Aerator Gelombang Halus Dalam Proses MBBR (*Batch*) Terhadap Persen Removal

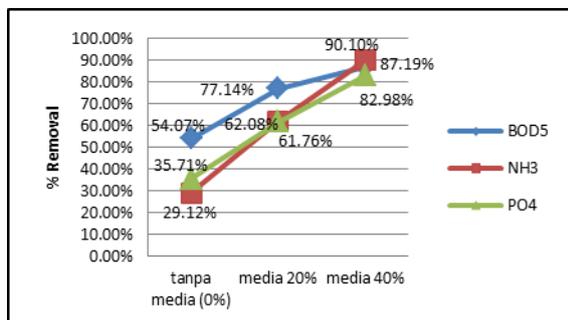
| Volume Media | Efisiensi % removal | | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Parameter Uji | | |
| | BOD ₅ | NH ₃ | PO ₄ |
| Tanpa media (0%) | 54,07% | 29,12% | 35,71% |
| Media 20% | 77,14% | 62,08% | 61,76% |
| Media 40% | 87,19% | 90,10% | 82,98% |

Sumber: Analisis, 2020

Hasil terbaik ada pada reaktor 3 (media 40%) pada masing-masing aerator dengan menghasilkan persen removal sebesar 82,38% dan 87,19% untuk BOD₅, 86,26% dan 90,10% untuk NH₃, 72,69% dan 82,98% untuk PO₄. Dapat dilihat pada gambar grafik untuk lebih jelasnya.



Gambar 2 Hubungan Media (Aerator Gelembung Kasar) Terhadap Persen Removal BOD₅, NH₃, PO₄



Gambar 3 Hubungan Media (Aerator Gelembung Halus) Terhadap Persen Removal BOD₅, NH₃, PO₄

Pada grafik diatas menggambarkan hubungan media terhadap persen removal BOD₅, NH₃, dan PO₄. Volume media 40% dapat menurunkan kadar BOD₅, NH₃, dan PO₄ lebih baik dibandingkan reaktor tanpa media dan reaktor dengan volume media 20%. Hal ini dikarenakan pada reaktor tanpa media hanya menggunakan bakteri biakan tersuspensi untuk proses pendegradasian kadar pencemar.

Sedangkan jika menggunakan media, proses pendegradasian dilakukan oleh dua bakteri yaitu bakteri biakan tersuspensi (*suspended growth*) dan biakan melekat (*attached growth*). Konsentrasi biomassa yang tinggi dapat terjadi dengan adanya media-media tersebut dibandingkan dengan biakan tersuspensi (Said & Santoso, 2015).

Semakin banyak media yang digunakan, semakin luas permukaan media yang digunakan untuk menempelnya bakteri sehingga proses pendegradasian oleh bakteri akan semakin baik pula. Maka dari itu variasi volume media paling optimum yaitu pada reaktor yang berisi volume media 40%. Senyawa polutan pada air limbah seperti BOD, COD, ammonia, phosphor dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan biofilm yang melekat pada permukaan media (Said, 2000). Pada proses secara *batch* hanya menganalisis tiga parameter, dengan penurunan yang terjadi pada BOD₅, NH₃, dan PO₄ memungkinkan penurunan juga terjadi pada parameter lain seperti COD dan TSS pada penelitian secara *continue*.

Pengaruh Aerator Terhadap Penurunan Kandungan Polutan

Keberadaan oksigen dalam proses MBBR sangatlah penting. Adanya oksigen menyebabkan berlangsungnya proses oksidasi aerob, mengubah bahan-bahan organik menjadi produk yang lebih stabil dan sisanya akan disintesis menjadi mikroba baru (Said & Santoso, 2015). Pada penelitian ini digunakan dua jenis aerator, yaitu aerator gelembung halus menggunakan aerator kayu dan aerator gelembung kasar menggunakan aerator batu.

Tabel 4 Pengaruh Media Menggunakan Aerator Gelombang Kasar Dalam Proses MBBR (*Batch*) Terhadap Persen Removal

| Volume Media | Efisiensi % removal | | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Parameter Uji | | |
| | BOD ₅ | NH ₃ | PO ₄ |
| Tanpa media (0%) | 30,5% | 25,82% | 29,83% |
| Media 20% | 69,14% | 54,39% | 51,68% |
| Media 40% | 82,38% | 86,26% | 72,69% |

Sumber: Analisis, 2020

Tabel 5 Pengaruh Media Menggunakan Aerator Gelombang Halus Dalam Proses MBBR (*Batch*) Terhadap Persen Removal

| Volume Media | Efisiensi % removal | | |
|------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | Parameter Uji | | |
| | BOD ₅ | NH ₃ | PO ₄ |
| Tanpa media (0%) | 54,07% | 29,12% | 35,71% |
| Media 20% | 77,14% | 62,08% | 61,76% |
| Media 40% | 87,19% | 90,10% | 82,98% |

Sumber: Analisis, 2020

Aerator gelembung halus memiliki hasil yang lebih baik jika dibanding dengan aerator gelembung kasar. Persen removal tertinggi terdapat pada reaktor yang menggunakan aerator gelembung halus dan volume media 40% yaitu 87,19% untuk BOD₅, sebesar 90,10% untuk NH₃, dan sebesar 82,98% untuk PO₄. Hal ini disebabkan aerator gelembung halus menghasilkan ukuran gelembung yang lebih kecil dibanding aerator gelembung kasar. Aerator gelembung kasar menghasilkan diameter gelembung 6-10 mm dan aerator gelembung halus menghasilkan diameter gelembung 2-5 mm (Ashley et al., 1992).

Luas transfer oksigen yang sangat besar disebabkan karena ukuran gelembung yang sangat kecil dan kecepatan naiknya gelembung ke permukaan kolam yang jauh lebih rendah daripada aerator dengan gelembung yang besar. Semakin besar ukuran gelembung maka gaya apung akan lebih besar serta mengakibatkan pembesaran pada kecepatan naiknya gelembung sehingga pelarutan oksigen kurang sempurna (Octy et al., 2015).

Ukuran gelembung yang kecil akan menciptakan gaya gesek yang tinggi karena keluarnya gelembung akan pelan dan semakin lama oksigen akan kontak dengan air limbah. Besarnya transfer oksigen akan berefek pada suplai oksigen yang digunakan oleh bakteri dalam mendegradasi senyawa organik. Proses pendegradasian menjadi lebih baik dengan tingginya suplai oksigen (Octy et al., 2015).

Injeksi udara yang dilakukan bukan hanya untuk menambahkan oksigen ke reaktor, tetapi juga digunakan dalam proses pengadukan secara turbulensi agar zat organik merata dan dapat diuraikan oleh mikroorganisme serta menggerakkan media di dalam reaktor. Pada pengadukan secara turbulensi, proses

penyerapan substrat akan lebih optimal (Said & Sya'bani, 2014).

Pengaruh Waktu Sampling Terhadap Penurunan Kandungan Polutan

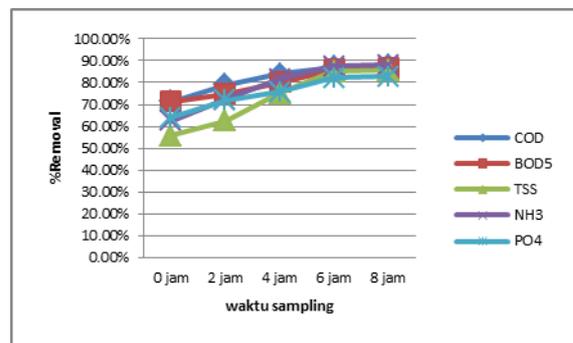
Proses running secara *continue* mengambil hasil terbaik dari proses running secara batch. Hasil terbaik dari proses running secara batch yaitu volume media 40% dengan menggunakan aerator gelembung halus. Terdapat 5 waktu sampling yang digunakan pada proses *continue*, yaitu 0 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Pada proses ini didapatkan hasil untuk semua parameter uji pada tabel 6.

Tabel 6 Pengaruh Waktu Sampling Terhadap Parameter Uji Dalam Proses MBBR (*Continue*)

| Waktu Sampling | Persen Removal | | | | |
|----------------|----------------|------------------|--------|-----------------|-----------------|
| | Parameter Uji | | | | |
| | COD | BOD ₅ | TSS | NH ₃ | PO ₄ |
| 0 jam | 71.38% | 71.42% | 55.70% | 62.43% | 63.90% |
| 2 jam | 78.93% | 74.89% | 62.45% | 72.19% | 71.79% |
| 4 jam | 84% | 80.01% | 75.27% | 81.66% | 75.69% |
| 6 jam | 87.13% | 86.14% | 85.01% | 87.57% | 82.06% |
| 8 jam | 87.89% | 86.91% | 85.63% | 87.98% | 82.93% |

Sumber: Analisis, 2020

Persen removal tertinggi pada waktu sampling ke 5. Hasil persen removal mencapai 87.89% untuk COD, 86.91% untuk BOD₅, 85.63% untuk TSS, 87.98% untuk NH₃, dan 82.93% untuk PO₄.



Gambar 4 Hubungan Waktu Sampling Terhadap Persen Removal Parameter Uji

Kurva pada grafik pada proses *continue* menggambarkan keadaan yang stabil dengan kenaikan persen removal yang tidak terlalu signifikan. Setelah mencapai kondisi stabil, dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme pengurai telah tumbuh dan bekerja dengan baik (Said & Sya'bani, 2014). Penurunan kandungan polutan yang mencapai kondisi stabil ini juga menunjukkan bahwa proses *continue* pada

reaktor MBBR berjalan dengan baik. Penurunan kandungan polutan terjadi seiring dengan bertambahnya waktu sampling. Hasil untuk COD, BOD₅, dan TSS tersebut sudah sesuai dengan baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Pengolahan Kedelai. Hasil untuk NH₃ dan PO₄ belum sesuai dengan kriteria mutu air berdasarkan kelas air Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 02 Tahun 2004.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kinerja reaktor MBBR dengan sistem *continue* menunjukkan persen removal untuk COD mencapai 87.89%, BOD₅ mencapai 86.91%, TSS mencapai 85.63%, N_{H3} mencapai 87.98%, PO₄ mencapai 82.93% pada waktu sampling 8 jam menggunakan volume media 40% dan aerator gelembung halus. Penurunan kandungan polutan secara stabil seiring bertambahnya waktu sampling menunjukkan bahwa mikroorganisme dan proses MBBR *continue* telah bekerja dan berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashley, K. I., Mavinic, D. S., & Hall, K. J. (1992). Bench-scale study of oxygen transfer in coarse bubble diffused aeration. *Water Research*, 26(10), 1289–1295.
- Farahdiba, A. U., Purnomo, Y. S., Sakti, S. N., & Kamal, M. F. (2019). *Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)*. 60(March), 65–74.
- Metcalf, E. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. McGraw - Hill Companies , Inc.
- Octy, R., Budhijanto, W., Kimia, D. T., Teknik, F., & Mada, U. G. (2015). Penguraian Limbah Organik Secara Aerobik Dengan Aerasi Menggunakan Microbubble Generator Dalam Kolam Dengan Imobilisasi Bakteri. *Penguraian Limbah Organik Secara Aerobik Dengan Aerasi Menggunakan*

Microbubble Generator Dalam Kolam Dengan Imobilisasi Bakteri, 9(2), 58–64.

- Said, N. I. (2000). Teknologi Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilm Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(2), 101–113.
- Said, N. I (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Said, N. I., & Santoso, T. I. (2015). Penghilangan Polutan Organik Dan Padatan Tersuspensi Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr). *Jurnal Air Indonesia*, 8(1), 33–46.
- Said, N. I., & Sya'bani, M. R. (2014). Penghilangan Amoniak Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Pusat Teknologi Lingkungan, (PTL) – BPPT*, 7(1).