

## Stabilitas Reaktor *Uplow Anaerobic Sludge Blanket-Hollow Centered Packed Bed* dalam Produksi Biogas pada Kondisi Ruangan

### *Stability of Uplow Anaerobic Sludge Blanket-Hollow Centered Packed Bed Reactors in Biogas Production at Ambient Conditions*

Surya Dana Sembiring\*, Irvan, Bambang Trisakti, Dewi Novita Sari Sihombing  
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Almamater Kampus USU Medan 20155 Indonesia  
\*Email: [suryadana100@gmail.com](mailto:suryadana100@gmail.com)

#### Abstrak

Digestasi anaerob adalah dekomposisi mikroba dari bahan organik menjadi metana, karbondioksida, nutrisi organik dan kompos dalam keadaan menipisnya oksigen dan adanya gas hidrogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas reaktor *Uplow Anaerobic Sludge Blanket-Hollow Centered Packed Bed* dalam produksi biogas pada keadaan ambient yang dilihat melalui parameter pH dan alkalinitas. Proses dilakukan dengan memvariasikan hydraulic retention time, yaitu 45 hari; 25 hari; 10 hari dan 6 hari dengan pH dijaga 7 ( $\pm 0,2$ ). Analisis pH dan alkalinitas dilakukan untuk mengkaji stabilitas reaktor pada kondisi ambient menggunakan sampel yang diambil keluaran reaktor. Profil pH yang dihasilkan relatif stabil dengan rentang pH antara 5,8 – 7,2. Nilai alkalinitas yang dihasilkan relatif stabil dengan rentang pH antara 2.000 – 4.000 mg/L. Volume biogas yang dihasilkan sebesar 470 ml dengan konsentrasi metana (CH<sub>4</sub>), Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan trace Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S) masing-masing sebesar 88,00%, 11,00% dan 0,10%.

**Kata kunci:** Digesti anaerob, reaktor UASB-HCPB, ambient, pH, alkalinitas

#### Abstract

Anaerobic digestion was the decomposition of microbes from organic matter into methane, carbon dioxide, organic nutrients and compost in oxygen depletion and hydrogen gas. This study aimed to obtain the stability of the *Uplow Anaerobic Sludge Hollow Centered Packed Bed* reactor in biogas production at an ambient state that was seen through pH and alkalinity parameters. The process was carried out by varying hydraulic retention time, ei 45 days, 25 days, 10 days and 6 days with pH maintained 7 ( $\pm 0,2$ ). Analysis of pH and alkalinity was carried out to assess the stability of the reactor at ambient conditions using samples taken from the reactor overflow. The pH profile produced was relatively stable with a pH range between 5.8 - 7.2. The resulting alkalinity value was relatively stable with a pH range between 2,000-4,000 mg/L. The volume of biogas produced was 470 ml with concentration of methane (CH<sub>4</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and trace hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) respectively by 88.00%, 11.00% and 0.10%.

**Keywords:** Anaerobic digestion, UASB-HCPB reactor, ambient, pH, alkalinity

#### Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan salah satu negara produsen dan pengekspor minyak kelapa sawit terbesar di dunia dibandingkan negara Malaysia [4]. Dengan penekanan produksi berkelanjutan, pengolahan limbah diharapkan menghasilkan energi dalam industri kelapa sawit. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit sudah dilakukan dengan *Uplow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), *Anaerobic Ponding System* (APS), *Anaerobic fluidized Bed Reactor* (AFBR), *Expanded Granular Sludge Bed Reactor* (EGSB), *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Anaerobic Sequencing Batch Reactor* (ASBR), *Continuous Stirred Tank Reactor*

(CSTR), dan *Uplow Anaerobic Sludge fixed film* (UASFF) [10].

Reaktor UASB menunjukkan fitur positif, seperti memungkinkan beban organik tinggi, *Hydraulic Retention Time* (HRT) rendah dan memiliki permintaan energi rendah. Pembentukan lumpur granular adalah karakteristik yang membedakan utama reaktor UASB dibandingkan dengan teknologi anaerobik lainnya [15]. Bakteri yang hidup di lumpur dalam reaktor UASB, memecah bahan organik menjadi biogas. Gelembung naik mengaduk lumpur tanpa bantuan mekanis [11].

Padatan tersuspensi, kandungan minyak dan lemak yang tinggi pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) menimbulkan masalah

operasional pada sebagian besar sistem reaktor UASB yaitu: penyumbatan, pembusaan dan pembentukan sampah, yang menyebabkan adanya kompromi terhadap kondisi operasi tertentu untuk menghindari ketidakmampuan reaktor. Oleh karena itu, sebuah rancangan baru reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanketed-Hollo Center Packed Bed* (UASB-HCPB) digunakan untuk mengatasi masalah operasional ini, sehingga dapat menjadi pilihan yang lebih tepat untuk pengolahan LCPKS. Reaktor UASB-HCPB mampu mengkonsumsi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) lebih dari 90% [14]. Sehingga ingin diketahui kestabilan reaktor UASB-HCPB dalam produksi biogas pada kondisi ruangan (*ambient*).

### Teori

Limbah cair didefinisikan sebagai cairan atau campuran yang terdiri dari materi padat tersuspensi dalam media cair yang terkandung dalam, atau dibuang dari, salah satu bejana, tangki atau wadah lainnya [20]. *Palm oil mill effluent* (POME) atau limbah cair pabrik kelapa sawit merupakan salah satu limbah agroindustri yang paling sering menyebabkan polusi dan merupakan limbah terbesar dari proses pengolahan kelapa sawit [21]. POME terutama dihasilkan dari proses sterilisasi dan proses klarifikasi di mana banyak menggunakan sejumlah besar uap dan /atau air panas [8], terdiri dari suspensi koloid yang mengandung 95-96% air, minyak 0,6-0,7% dan 4-5% total padatan serta 2-4% padatan tersuspensi. Komposisi utama POME adalah air, minyak, padatan tersuspensi, padatan terlarut dan pasir [17]. POME merupakan cairan kental berwarna kecoklatan, bersuhu tinggi, bersifat asam dan padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD yang tinggi [10]. Saat ini, pemulihan produk organik berbasis terbarukan adalah pendekatan baru dalam mengelola POME. Teknologi ini bertujuan untuk memulihkan produk seperti asam lemak volatil dan biogas untuk mengembangkan keberlanjutan industri kelapa sawit. Selain itu, telah dipertimbangkan bahwa POME dapat digunakan kembali sebagai substrat fermentasi dalam produksi berbagai metabolit melalui kemajuan bioteknologi [13].

Biogas adalah gas produk digester dari aktivitas bakteri anaerobik yang mendekomposisi senyawa organik. Biogas yang diperoleh dapat digunakan dalam berbagai bidang ekonomi, terutama dalam proses teknologi dan untuk tujuan rekayasa listrik, termasuk berikut [12]:

1. Produksi energi panas di boiler gas dan produksi energi panas dan listrik dalam unit terkait (dari 1 m<sup>3</sup> biogas dihasilkan 2,1 kWh energi listrik dan 2,9 kWh panas).
2. Produksi energi listrik di percikan/pengapian atau turbin mesin.
3. Gas yang diperoleh digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin motor/mobil.
4. Gas yang diperoleh digunakan dalam berbagai proses teknologi, misalnya dalam produksi metanol.

Biogas adalah istilah teknis untuk gas yang dihasilkan dari digesti anaerobik. Biogas sebagian besar terdiri dari metana dan karbon dioksida, tetapi juga mengandung beberapa hidrogen sulfida, amonia dan hidrogen. Biogas dengan kandungan metana lebih besar dari 45% bersifat mudah terbakar[3].

Beberapa parameter yang mempengaruhi pembentukan biogas bagian berikut.

#### 1. HRT

Waktu retensi yang diperlukan untuk penyelesaian reaksi digesti anaerobik bervariasi sesuai, teknologi, suhu proses, dan komposisi limbah yang berbeda. HRT yang lebih rendah diperlukan dalam digester yang dioperasikan dikisaran suhu termofilik. Sebuah reaktor dengan padatan tinggi yang beroperasi direntang suhu termofilik memiliki waktu retensi 14 hari [19].

Menurut persamaan  $HRT = V/Q$ , meningkatkan beban organik mengurangi HRT. Waktu retensi harus cukup panjang untuk memastikan bahwa jumlah mikroorganisme dihilangkan pada *effluent* tidak lebih banyak dari jumlah mikroorganisme yang direproduksi. Laju duplikasi bakteri anaerob biasanya 10 hari atau lebih. HRT yang singkat menyediakan laju aliran substrat yang baik, tapi menghasilkan *yield* gas yang rendah. Oleh karena itu, penting mengadaptasi HRT untuk laju dekomposisi spesifik dari substrat yang digunakan. Mengetahui HRT ditargetkan dapat mengetahui input bahan baku harian dan laju dekomposisi substrat, agar memungkinkan untuk menghitung volume digester diperlukan [18].

#### 2. Alkalinitas

Alkalinitas adalah ukuran kapasitas untuk menetralkan asam dan terutama disebabkan oleh garam-garam dari asam lemah. Alkalinitas merupakan salah satu konsep yang paling sentral karena mengontrol pH. Alkalinitas harus diakui sebagai salah satu faktor utama dalam semua perlakuan anaerobik terdiri dari spesies yang berbeda dari garam asam lemah, sehingga sangat nyaman dan konvensional untuk mengungkapkan semua alkalinitas sebagai

$\text{CaCO}_3$  dalam satuan mg/L. Karena  $\text{CO}_2$  sering melebihi asam lemah lainnya dalam sistem anaerobik dengan aktivitas mikroba, alkalinitas bikarbonat yang cukup harus hadir untuk menetralkan dan karena itu sangat penting. Dalam sistem anaerobik garam asam volatil juga berkontribusi terhadap alkalinitas pada pH netral, tetapi tidak tersedia untuk netralisasi penambahan asam volatil meskipun mereka mungkin merupakan sebagian besar dari total alkalinitas. Sistem anaerob beroperasi dalam rentang pH netral di mana bikarbonat adalah spesies yang dominan, sehingga alkalinitas bikarbonat minat utama [2].

### 3. pH

Bakteri anaerob, khususnya metanogenesis, sensitif terhadap konsentrasi asam dalam digester dan pertumbuhannya dapat dihambat oleh kondisi asam. Konsentrasi asam dalam sistem berair dinyatakan oleh nilai pH, yaitu konsentrasi ion hidrogen. Penelitian menunjukkan bahwa pembentukan metana relative terjadi pada interval pH 5,5-8,5 dengan rentang pH optimum diantara 7-8 untuk bakteri metanogenesis. Selama pencernaan dua proses yaitu pengasaman dan metanogenesis membutuhkan tingkat pH yang berbeda untuk kontrol proses yang optimal [16].

Dalam kebanyakan kasus, transformasi anaerobik bahan organik dicapai paling efisien pada pH netral, meskipun banyak spesies dapat tumbuh pada pH yang lebih rendah atau lebih tinggi. Nilai pH yang rendah akibat akumulasi produk antara berlebihan yang merupakan penghambat metanogenesis yang diakibatkan oleh bakteri *Acidogenic*. Asidogenesis dapat tumbuh dan terus menghasilkan asam pada pH rendah (5-6) yang mengintensifkan kondisi penghambatan terhadap metanogenesis dalam produksi matana [7].

### 4. Temperatur

Ada beberapa keadaan temperatur untuk proses fermentasi anaerob, berkisar antara  $3^\circ\text{C}$ - $70^\circ\text{C}$ . Secara umum, dibagi dalam tiga rentang suhu yaitu, pesofilik ( $<20^\circ\text{C}$ ), mesofilik ( $20$ - $40^\circ\text{C}$ ), dan termofilik ( $>40^\circ\text{C}$ ). Tingkat produksi metana meningkat dengan meningkatnya suhu. Di sisi lain, peningkatan suhu pada gilirannya juga akan meningkatkan konsentrasi amonia bebas. Akibatnya, proses akan terhambat dan produksi metana akan berkurang. Proses pembentukan metana sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Secara umum ada tiga perubahan dalam rentang suhu yang diterima sebagai efek penghambatan proses. Batas fluktuasi tidak boleh melebihi rentang yang

diberikan yaitu;  $\pm 2^\circ\text{C}/\text{jam}$  untuk pesofilik,  $\pm 1^\circ\text{C}/\text{jam}$  untuk mesofilik, dan  $\pm 0,5^\circ\text{C}/\text{jam}$  untuk termofilik [5].

## Metodologi Penelitian

### Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) dan Asam Klorida ( $\text{HCl}$ ). Bahan baku utama yang digunakan berupa LCPKS yang diambil dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Rambutan PTPN III.

### Deskripsi Proses

Rangkaian peralatan yang digunakan dalam proses penelitian adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian reaktor UASB-HCPB

Penelitian ini merupakan proses digestasi anaerobik satu tahap menggunakan reaktor UASB-HCPB untuk menghasilkan biogas. Pada tahap awal LCPKS yang dicampur dengan *starter* metanogenesis dengan komposisi campuran 20% *starter* + 80% LCPKS segar dimasukkan ke dalam tangki pengumpulan, kemudian diaduk sampai homogen. Campuran tersebut diumpahkan ke dalam reaktor dengan volume kerja 5,4 liter dengan kondisi *ambient*.

Proses dimulai dengan perlakuan tanpa pemberian beban organik (*batch*) sampai pH dan Alkalitasnya stabil (2000–4000 ppm). Setelah tercapai kondisi stabil dilakukan tahap kontinu dengan HRT 45 hari, 25 hari, 10 hari dan 6 hari masing-masing dilakukan pemberian beban organik secara bertahap pada kondisi operasi suhu *ambient*, pH  $7 \pm 0,2$  dan alkalitasnya stabil (2000–4000 ppm). Dijaga stabil agar kondisi kehidupan mikroba di dalam reaktor dapat berkembang dengan baik. Untuk mencegah terjadinya penurunan pH dan alkalinitas dapat

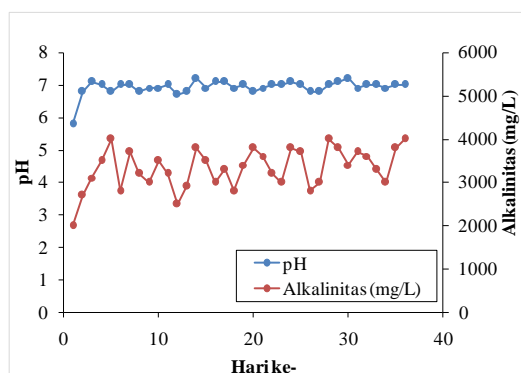
ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  kedalam reaktor dari awal proses sampai akhir operasi.

Dilakukan analisis pH dan alkalinitas selama proses berlangsung. Analisis pH dan alkalinitas dilakukan setiap hari menggunakan sampel dari aliran keluaran pada reaktor. Adapun Biogas yang terbentuk diukur melalui gas meter yang dihubungkan dengan reaktor lalu analisa yang dilakukan adalah komposisi gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$  menggunakan pendeteksi gas.

## Hasil dan Pembahasan

### Profil pH dan Alkalinitas

pH yang stabil menunjukkan keseimbangan sistem dan stabilitas reaktor. Bakteri metanogenesis bekerja pada range pH 6,8-7,6 [9]. Selama proses reaktor dioperasikan dengan penurunan HRT dari 45 hari, 25 hari, 10 hari dan 6 hari pada kondisi *ambient*. Oleh sebab itu, pada proses digunakan pH 7 ( $\pm 0,2$ ). pH VFA dijaga stabil dengan dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$ , dimana umpan memiliki pH 4,8 sehingga diperoleh profil pH stabil yaitu 7 ( $\pm 0,2$ ). profil pH dan alkalinitas ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil pH dan Alkalinitas

Gambar 2 menunjukkan profil pH dan alkalinitas relatif stabil dengan rentang pH antara 5,8–7,2. Pada proses metanogenesis, pH dan alkalinitas merupakan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Kedua faktor tersebut menunjukkan kestabilan dalam proses metanogenesis [2]. Dari kondisi pH dan alkalinitas di dalam fermentor dapat diramalkan apakah proses metanogenesis masih berjalan. Pada Gambar 2 pH dari reaktor mengalami fluktuasi disebabkan oleh penambahan umpan baru yang memiliki pH lebih rendah, sehingga menyebabkan terjadinya fluktuasi alkalinitas di dalam reaktor. Nilai alkalinitas berfluktuasi seiring dengan perubahan pH dalam reaktor. Selama proses nilai alkalinitas yang diperoleh pada HRT  $\infty$  (proses awal) berfluktuasi antara 2.000–3.500 mg/L, pada HRT

45 hari alkalinitas berfluktuasi antara 2.800–4.000 mg/L, pada HRT 25 hari alkalinitas berfluktuasi antara 2.500–3.800 mg/L, pada HRT 10 hari alkalinitas berfluktuasi antara 2.800–3.800 mg/L, dan pada HRT 6 hari alkalinitas berfluktuasi antara 2.800–4.000 mg/L. Volume biogas yang dihasilkan sebesar 470 ml dengan konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan *trace* Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) masing-masing sebesar 88,00%, 11,00% dan 0,10%. Meski demikian, nilai pH dan alkalinitas yang diperoleh pada penelitian ini termasuk kedalam rentang yang masih dapat dihidupi oleh bakteri metanogenesis yaitu pada pH 6,8-7,6 dan alkalinitas 1.500–5.000 mg/L [6].

Dengan tercapainya kondisi pH dan alkalinitas yang stabil maka mikroba dapat bekerja dengan baik. Oleh karena itu, proses metanogenesis pada kondisi *ambient* dengan reaktor UASB-HCPB masih dalam kondisi stabil untuk proses pembuatan biogas.

### Kesimpulan

Nilai pH selama proses metanogenesis berada pada rentang optimum bagi bakteri metanogenik untuk menghasilkan biogas yaitu pada rentang 5,8–7,2. Nilai alkalinitas pada proses metanogenesis berada pada rentang alkalinitas pada proses metanogenesis yaitu 2.000-4.000 mg/l. Volume biogas yang dihasilkan sebesar 470 mldengan konsentrasi metana ( $\text{CH}_4$ ), Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan *trace* Hidrogen Sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) masing-masing sebesar 88,00%, 11,00% dan 0,10%, yang menandakan bahwa mikroba dapat bekerja dengan baik pada reaktor UASB-HCPB pada kondisi *ambient*.

### Daftar Pustaka

- [1] A. Hadi, M. A, A. E. Azeem, S. A. M, Effect of Heating, Mixing and Digester Type on Biogas Production from Buffalo Dung, *Misr J. Ag. Eng.*, 25 (2008) 1454-1477.
- [2] A. Lemmer, H. J. Naegel, J. Sondermann, How Efficient are Agitators in Biogas Digesters? Determination of the Efficiency of Submersible Motor Mixers and Incline Agitators by Measuring Nutrient Distribution in Full-Scale Agricultural Biogas Digesters, *Energies*, 6 (2013) 6255-6273.
- [3] A. O. Audra, D. Aryati, Vincensia, Biogas Production Using Anaerobic Biodigester from Cassava Starch Effluent with Ruminant Bacteria as Biocatalyst, Essay, Diponegoro University, Semarang, 2010.

- [4] B. Trisakti, V. Manalu, Irvan, Taslim, M. Turmuzi, Acidogenesis of Palm Oil Mill Effluent to Produce Biogas: Effect of Hydraulic Retention Time and pH. World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, 195 (2015) 2466-2474.
- [5] C. E. M. Loh, S. N. Mamphweli, E. L. Meyer, A. I. Okoh, G. Makaka, M. Simon. Microbial Anaerobic Digestion (Bio-Digesters) as an Approach to the Decontamination of Animal Wastes in Pollution Control and the Generation of Renewable Energy, International Journal Environment Resources Public Health, 10 (2013) 4390-4417.
- [6] D. Padmono, Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyanggaan (*Buffer Capacity*) dalam Sistem Anaerobik Fix Bed, Jurnal Teknik Lingkungan, 8 (2007).
- [7] E. U. Kiran, K. Stamatelatos, G. Antonopoulou, G. Lyberatos, Production of Biogas via Anaerobic Digestion, University of Patras, Greece, 2011.
- [8] J. D. Bala, J. Lalung, N. Ismail, Biodegradation of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Bacterial, International Journal of Scientific and Research Publications, 4 (2014).
- [9] J. Lu. Optimizion of Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Using Thermophilic Anaerobic Pre-Trement, Dissertation, The Technology University, Denmark, 2006.
- [10] J. Wang, Q. Mahmood, J. P. Qiu, Y. S. Li, Y. S. Chang, X. D. Li, Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in pilot-scale anaerobic EGSB reactor. BioMed research international, (2015).
- [11] K. Kaviyaran, Application of UASB Reactor in Industrial Waste Water Treatment – a Review, International Journal of Scientific & Engineering Research, 5 (2014).
- [12] K. Ziemiński, M. Frąć, Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms, African Journal of Biotechnology, 11 (2012) 4127-4139.
- [13] N. S. Azmi, K. F. M. Yunos, A. S. Baharuddin, Z. M. Dom, The Effect of Operating Parameters on Ultrafiltration and Reverse Osmosis of Palm Oil Mill Effluent for Reclamation and Reuse of Water, BioResources, 8 (2013) 76-87.
- [14] P. E. Poh dan M. F. Chong, Upflow Anaerobic Sludge Blanket-Hollow Centered Packed Bed (UASB-HCPB) Reactor for Thermophilic Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment, Biomass and Bioenergy, 67 (2014) 231-242.
- [15] R. Chaisri, P. Boongsawang, P. Prasertsan, S. Chaiprapat, Effect of Organic Loading Rate on Methane and Volatile Fatty Acids Production From Anaerobic Treatment of Palm Oil Mill Effluent in UASB and UFAF Reactors, Songklanakarin J. Sci. Technol, 29 (2007).
- [16] S. Aslanzadeh, P. Özmen, Biogas Production from Municipal Waste Mixed with Different Portions of Orange Peel, Thesis, School of Engineering, University of Borås, 2009.
- [17] S. W. Nukul, W. Rukruemz, P. Chaiprasert, Effect of Operating Condition on Performance of Anaerobic Hybrid Reactor Thermophilic Temperature, Journal of Energy Technologies and Policy, 3 (2013) 211-217.
- [18] T. A. Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Kottner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen, Biogas Handbook, University of Southern, Denmark, 2008.
- [19] Y. S. Wong, S. A. Ong, K. K Lim, H. C. Lee, Acclimatization and Performance Study of Acidogenesis Anaerobic Degradation Process for Palm Oil Mill Effluent, International Conference on Environmental and Industrial Innovation, 12 (2011).
- [20] Z. Ujang, S. Salmiati, M. R. Salim, Microbial Biopolymerization Production from Palm Oil Mill Effluent (POME), Institute of Environmental and Water Resource Management (IPASA), University Teknologi Malaysia, 2010.
- [21] Z. Yejian, Y. Hairen, Z. Xiangyong, Z. Zhenjia, Y. Li, High-rate Mesophilic Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill effluent (POME) in Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor, Advances in Biomedical Engineering, 3(5), (2011).