

PERANCANGAN GEOMETRI DAN POWER PENGADUK UNTUK BIOREAKTOR

Geometric Design and Power Requirements of Bioreactor Agitator

Novio Valentino, Dwi Lukman Hakim, dan Fusia Mirda Yanti
Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
GGedung 625, Kawasan Puspiptek Serpong - Tangerang Selatan 15314
Email: novio.valentino@bppt.go.id

Diterima: 12 Oktober 2020; Diperiksa: 29 Oktober 2020; Revisi: 24 November 2020; Disetujui: 9 Desember 2020

Abstract

Sei Pagar's palm oil mill (PKS Sei Pagar), PTPN V Riau processes fresh fruit bunch into crude palm oil (CPO). This processing also generates waste like empty fruit bunches (EFB), shells, fiber, and palm oil mill effluent (POME). POME has a high content of chemical oxygen demand (COD), approximately 30,000-80,000 mg/L, which is usually fermented by bacteria. This fermentation mechanism can be used to produce biogas containing methane in a continuous stirred tank reactor (CSTR). Since POME or organic materials for biogas production generally contain sludge, the biogas production process should have an agitator to mix sediment in the base reactor and improve biogas production. This research aims to determine the agitator's specifications for the biogas pilot plant in PKS Sei Pagar, consisting of power type and type of stirrer include diameter calculation, geometry, and power calculation. The agitator's power and geometry are determined based on input data from the datasheet reactor and the efficiency of the stirrer is calculated by Reynolds reynolds numbers. From this research's calculations, an agitator geometry for the biogas pilot plant in PKS Sei Pagar had a length of 0.875 m, a width of 0.7 m, and a height of 3.5 m. This research also obtained that the motor power result was 23.55 HP. The selection of motor power in the Biogas pilot plant's stirring process in PKS Sei Pagar should have a standard agitator motor power of 25 HP.

Keywords: PKS Sei Pagar, POME, biogas, agitator, geometry agitator, power agitator

Abstrak

Pabrik kelapa sawit (PKS) Sei Pagar, PTPN V Riau mengolah tandan buah segar (TBS) kelapa sawit TBS tersebut menjadi CPO dengan menghasilkan limbah berupa tandan kosong sawit, cangkang, fiber dan *palm oil mill effluent* (POME). POME memiliki kandungan *chemical oxygen demand* (COD) yang cukup tinggi yaitu sebesar 30.000-80.000 mg/L yang jika difermentasi dengan bakteri dapat menghasilkan biogas yang mengandung gas metana dalam reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). POME atau bahan organik yang digunakan untuk pembuatan biogas umumnya memiliki kandungan *sludge* atau kotoran, sehingga dibutuhkan pengaduk yang berfungsi mencegah terjadinya endapan di dasar reaktor, yang dapat menghambat aliran gas yang terbentuk di daerah dasar sehingga berpengaruh terhadap jumlah biogas yang akan dihasilkan. Fokus pada penelitian ini adalah melakukan perhitungan spesifikasi pengaduk untuk *pilot plant* bBiogas di PKS Sei Pagar berupa daya dan jenis pengaduk. Prosedur perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan diameter, geometri, dan perhitungan keutuhan daya. Perhitungan daya dan bentuk geometri pengaduk dilakukan berdasarkan masukan data dari data sheet reactor. Perhitungan daya menggunakan pergerakan cairan di dalam tangki berpengaduk yang digambarkan dengan bilangan reynolds. Untuk perhitungan daya, dilakukan juga perhitungan power dari pengaduk, dimana daya pengadukan ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan *Reynolds reynolds number vs power number* dan jenis propeller yang digunakan. Dari penelitian ini didapatkan perhitungan geometri pengaduk untuk *pilot plant* bBiogas di PKS Sei Pagar adalah panjang pengaduk sebesar 0.,875 m, lebar sebesar 0.,7 m dan tinggi sebesar 3.,5 m. Selain itu, pada penelitian ini juga diperoleh hasil perhitungan daya motor pengaduk sebesar 23,55 HP, dan pemilihan daya motor yang digunakan dalam proses pengadukan pada pilot plant Biogas di PKS Sei Pagar harus menggunakan daya motor standar pengaduk sebesar 25 HP.

Kata kunci: PKS Sei Pagar, POME, biogas, pengaduk, geometri pengaduk, daya pengaduk.

1. PENDAHULUAN

Pabrik kelapa sawit (PKS) Sei Pagar yang merupakan perusahaan di bawah PTPN V memiliki kapasitas terpasang untuk mengolah 30 ton

tandan buah segar (TBS) per /jam dengan potensi olah kelapa sawit mencapai 180.000 ton TBS per tahunnya. PKS Sei Pagar mengolah TBS tersebut menjadi *crude palm oil* (CPO) dengan

menghasilkan limbah berupa tandan kosong sawit, cangkang, fiber dan *palm oil mill effluent* (POME). POME adalah salah satu produk samping yang berasal dari kondensat dari proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air *hydrocyclone* (*claybath*), dan air pencucian pabrik (Irvan *et al.*, 2012). POME memiliki kandungan *chemical oxygen demand* (COD) yang cukup tinggi yaitu sebesar 30.000-80.000 mg/L sehingga akan dapat mengakibatkan masalah pada lingkungan apabila dibuang begitu saja tanpa pengolahan.

Kandungan organik dalam limbah POME dapat difermentasi dengan bakteri untuk menghasilkan biogas yang mengandung gas metana. Proses anaerobik ini berlangsung dalam digester/reaktor biogas. POME atau bahan organik yang digunakan untuk pembuatan biogas umumnya memiliki kandungan *sludge* atau kotoran yang dapat mempengaruhi saat proses pembuatan biogas di dalam digester (Deublein Dieter dan Angelikadan Steinhauer, 2008). Hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan reaktor yang memiliki pengaduk (Budiman, 2007). Reaktor yang akan digunakan pada produksi biogas di PKS Sei Pagar adalah jenis reaktor *continuous stirred tank reactor* (CSTR). Penggunaan CSTR memiliki banyak keuntungan diantaranya kontrol, monitoring, serta *maintenance* yang lebih mudah, memproduksi *yield* gas metana lebih tinggi, prosesnya lebih cepat dan tidak membutuhkan lahan yang luas (Ahmed, 2015).

Pengadukan dalam reaktor memiliki beberapa fungsi diantaranya untuk mencegah terjadinya endapan di dasar reaktor, yang dapat menghambat aliran gas yang terbentuk di daerah dasar sehingga berpengaruh terhadap jumlah biogas yang akan dihasilkan (C.W. Yuwono, 2013). Selain itu dapat meningkatkan kontak antara mikroba dengan substrat sehingga bakteri mendapatkan nutrisi dengan baik dan menghomogenkan kondisi limbah (Meroney dan Colorado, 2009).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dalam makalah ini dilakukan perhitungan spesifikasi pengaduk. Perhitungan yang dilakukan antara lain yang penting yaitu daya, dan jenis pengaduk., dll. Hasil perhitungan ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk menentukan pengaduk yang akan digunakan pada reaktor reaktor CSTR pada dalam produksi biogas dari POME.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Teori

2.1.1. Sistem Pengaduk

Pencampuran bahan dapat terjadi dengan cara menimbulkan gerak di dalam bahan tersebutitu yang menyebabkan bagian -bagian bahan partikel-partikel dari bahan tersebut saling bergerak dan berbenturan satu terhadap yang lainnya. Pada dasarnya, terdapat tiga jenis sistem pencampuran yang meliputi pencampuran dengan gas, pencampuran mekanis dan resirkulasi pompa.

Perangkat pencampur yang paling efisien dalam hal daya yang dikonsumsi per volume campuran adalah pengaduk mekanis.

Proses dengan pengaduk mekanis terjadi dalam kondisi aliran laminar atau turbulen, tergantung pada bilangan Reynolds pada impeller, yang didefinisikan sebagai $Re = \rho ND^2 / \mu$. Aliran laminar terjadi untuk bilangan Reynolds di bawah sekitar 2000. Kondisi turbulen dicapai pada bilangan Reynolds lebih tinggi dari sekitar 4000 dan untuk aliran transisi terjadi antara kondisi laminar dan turbulen.

Pengaduk atau bisa juga disebut dengan agitator pada umumnya terdiri dari rangkaian motor sebagai penggerak padel dan *impeller* atau *blade* yang disesuaikan dengan limbah atau bahan organik organik yang digunakan.

2.1.2. Jenis Pengaduk

Berdasarkan tempat pemasangannya, instalasi pengaduk dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu pengaduk dari atas (*top entering*), pengaduk dari bawah (*bottom entering*), dan pengaduk dari samping (*side entering*). *Bottom entering* cocok digunakan untuk densitas dan viskositas liquid likuid yang tinggi. Penggunaan *top entering* cocok untuk tinggi *vessel* dengan rasio level operasi dan diameternya lebih besar dari 1(satu) tetapi tidak dapat diaplikasikan untuk densitas liquid likuid yang tinggi. Sedangkan untuk *side entering* direkomendasikan untuk zona agitasi atau level agitasinya tidak lebih dari 100 % dari diameter tangki atau lebar tangki dan tidak ada batasan untuk aplikasinya.

Menurut aliran yang dihasilkan, pengaduk dapat dibagi menjadi tiga golongan, yaitu pengaduk aliran aksial, pengaduk aliran radial, dan pengaduk aliran campuran. Pengaduk aliran aksial merupakan pengaduk yang dapat menimbulkan arah aliran yang sejajar dengan sumbu putaran. Contoh pengaduk aksial yaitu propeller propeler dan *pitch blade* pada turbin. Pengaduk aliran radial adalah pengaduk yang menimbulkan arah aliran yang tegak lurus terhadap sumbu rotasi pengaduk. Yang termasuk contoh dari pengaduk radial adalah *open flat blade* dan *disk style Rushton*. Pengaduk aliran campuran yang merupakan gabungan dari pengaduk aksial dan pengaduk radial.

Penggolongan pengaduk menurut bentuknya dapat dibagi menjadi 3, yaitu propellerpropeler, *padlle*, dan turbin.

a. Propeller

Jenis impeller ini digunakan pada kecepatan berkisar antara 400 hingga 1750 rpm (*revolutions per minute*) dan digunakan untuk cairan dengan viskositas rendah serta tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki. Propeller Propeler kecil umumnya berputar pada kecepatan motor penuh, yaitu 1.150 sampai 1.750 rpm. Sedangkan propeller propeler besar berputar pada 400 sampai 800 rpm. Pengaduk propeler dapat menimbulkan aliran arah aksial, dimana yang mana arus aliran

yang meninggalkan pengaduk secara kontinu melewati fluida ke satu arah tertentu kemudian dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki. Hal tersebut menjadikan propeller sangat efektif untuk bejana besar.

b. Paddle

Jenis *Impeller* ini digunakan untuk cairan yang mempunyai viskositas 100.000 sampai 1.000.000 cP. Berbagai jenis agitator *paddle* sering digunakan pada kecepatan rendah antara 20 sampai dengan 200 rpm. Panjang total *impeller* biasanya 60 - 80% dari diameter tangki dan lebar dari *blade* 1/6 - 1/10 dari panjangnya. Pengaduk *paddle* dapat menimbulkan aliran arah radial dan tangensial serta hampir tidak ada gerakan vertikal sama sekali. Arus aliran bergerak ke arah horisontal setelah mencapai dinding akan dibelokkan ke atas atau ke bawah. Pada kecepatan tinggi hanya akan terjadi pusaran tanpa terjadi agitasi. Jenis ini digunakan pada cairan kental dimana yang mana endapan pada dinding dapat terbentuk dan juga digunakan untuk meningkatkan transfer panas dari dan ke dinding tangki. Pengaduk *paddle* sering digunakan untuk proses pembuatan cat, bahan perekat dan kosmetik.

c. Turbin

Pengaduk turbin adalah pengaduk *paddle* yang memiliki banyak daun pengaduk dan berukuran lebih pendek. Jenis *impeller* ini digunakan pada kecepatan tinggi untuk cairan dengan rentang viskositas yang sangat luas. Diameter dari sebuah turbin biasanya antara 30 - 50% dari diameter tangki. Turbin dengan daun datar menimbulkan arah aliran radial. Jenis ini juga berfungsi untuk dispersi gas dengan baik, dimana gas akan dialirkan dari bagian bawah pengaduk dan akan menuju ke bagian daun pengaduk kemudian menjadi gelembung gas.

2.2. Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang digunakan terdiri dari perhitungan diameter, geometri, perhitungan kebutuhan daya. Perhitungan daya dan bentuk geometri pengaduk dilakukan berdasarkan masukan data dari data karakteristik POME dan *data sheet* reactor reaktor yang diperlukan dalam perhitungan

2.2.1 Perhitungan Ukuran Geometri

Ukuran geometris untuk sistem pengaduk adalah.

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,25$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{H}{D_a} = 1,2$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- D_a = Diameter *impeller*
- D_t = Diameter tangki
- W = Lebar daun *impeller*
- L = Panjang daun *impeller*
- H = Tinggi pengaduk dari dasar

2.2.2 Perhitungan Daya Pengadukan

Bilangan Reynolds

Pergerakan cairan di dalam tangki berpengaduk dapat digambarkan dengan bilangan tak berdimensi lain, yaitu bilangan reynolds (N_{RE}). Bilangan Reynolds merupakan rasio antara inersia dengan kekentalan.

$$N_{RE} = \frac{d^2 n \rho}{\mu} \dots\dots\dots(2)$$

Daya (Power)

Besarnya tenaga (P) untuk operasi pengadukan akan mempengaruhi besarnya gradien kecepatan yang dihasilkan. Bila suatu sistem pengadukan telah ditentukan nilai gradien kecepatannya, maka tenaga pengadukan dapat dihitung. Pada pengadukan mekanis yang berperan menghasilkan tenaga adalah bentuk dan ukuran alat pengaduk serta kecepatan alat pengaduk itu diputar (oleh motor). Daya pengadukan ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan *reynolds number vs power number* dan jenis propeller yang digunakan.

$$P = N_p \rho n^3 d^5 \dots\dots\dots(3)$$

Di mana :

- P : Power (W)
- N_p : Power number
- n : Putaran *blade* (rpm)
- d : Diameter (m)
- ρ : Massa jenis fluida (kg/m³)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis karakteristik POME untuk parameter Massa jenis dan viskositas, didapatkan hasil Massa jenis sebesar 989,71 Kgkg/m³ dan Viskositas sebesar 3,9 cp. Data reactor reaktor seperti diameter dan tinggi reaktor ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Dimensi reactor

Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Diameter reactor	D_t	14	m
Tinggi reactor	H	13,5	m
Tinggi cairan POME efektif	H_l	$H_l = 85\% \times H$ $= 85\% \times 13,5$ $=$	m
Volume POME efektif	V	$V = 3,14 \times r^2 \times H$ $= 1767,15$	m ³

Data tersebut digunakan untuk perhitungan geometri sistem pengaduk.

3.1 Ukuran geometri pengaduk

Pada penentuan geometri pengaduk digunakan *impeller* jenis propellerpropeler. Karena dapat digunakan untuk campuran berviskositas < 10.000 cp (Geankoplis, 19932003) dan cocok untuk pengadukan suspensi solid (WallasStanley, 1990).

Penjabaran geometri pengaduk yaitu:

$$D_a = 0,25 \times D_t$$

$$D_a = 3,5 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} \times D_a$$

$$W = 0,7 \text{ m}$$

$$H = 1 \times D_a$$

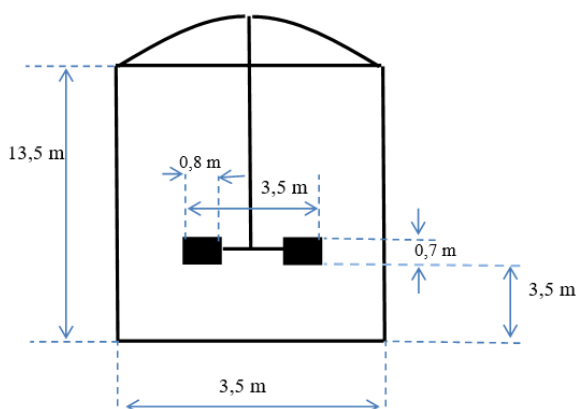
$$H = 3,5 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} \times D_a$$

$$L = \frac{1}{4} \times 3,5$$

$$L = 0,875 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat digambarkan ukuran geometri pengaduk yang ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Ukuran geometri pengaduk

3.2. Kebutuhan Daya Pengadukan Bilangan Reynolds (N_{RE})

$$N_{RE} = \frac{d^2 n \rho}{\mu}$$

$$N_{RE} = \frac{3,5^2 \times 16,5 / 60 \times 989,71}{0,03}$$

$$N_{RE} = 111136,18$$

Dari tabel (Geankoplis, 2003) diperoleh $N_p = 0,4$

Daya (Power)

$$P = N_p \rho n^3 d^5$$

$$P = 0,4 \times 989,71 \times (16,5 / 60)^3 \times 3,5^5$$

$$P = 14053,66 \text{ Watt}$$

$$P = 14,05 \text{ kW}$$

$$P = 18,85 \text{ HP}$$

Karena efisiensi motor $\eta = 80\%$, maka daya yang dibutuhkan = $18,85 \text{ HP} / 80\% = 23,55 \text{ HP}$. Hasil perhitungan diperoleh daya motor 23,55 HP, dan pemilihan daya motor yang akan digunakan dalam proses pengadukan harus menggunakan daya motor standar untuk pengaduk yaitu sebesar 25 HP.

4. KESIMPULAN

. Desain Spesifikasi spesifikasi pengaduk yang digunakan untuk pilot plant Biogas di PKS Sei Pagar sebagai berikut :

- Hasil perhitungan geometri pengaduk adalah panjang pengaduk sebesar 0.875 m, Lebar 0.7 m dan tinggi sebesar 3.5 m
- Hasil perhitungan daya motor pengaduk sebesar 23.55 HP
- Pemilihan daya motor yang digunakan dalam proses pengadukan pada pilot plant Biogas di PKS Sei Pagar sebaiknya menggunakan daya motor standar pengaduk sebesar 25 HP.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed Y., Yaakob Z., Akhtar P., Sopian K., (2015). *Production of Biogas and Performance Evaluation of Existing Treatment, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42. pp. 1260-1278.

Budiaman, I Gusti S., (2007). *Perancangan Reaktor*. UPN Veteran Yogyakarta, 8.

Coulson & Richardson's. (2005). *Chemical Engineering Design*. Volume 6, Fourth Edition, Linacre House, Jordan Hill, Oxford

Deublin, Dieter dan Angelika Steinhauser. (2008) *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Wiley-Vch.: 56-61.

Geankoplis, C.J.. (2003). *Transport Processes and Unit Operations*. 4th editions. Prentice-Hall of India. New Delhi.

Irvan., Bambang Trisakti., Vivian Wongistani., Yoshimasa Tomiuchi. (2012). Methane from Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME) in a Thermophilic Anaerobic Reactor. *International Journal of Science and Engineering* Vol.3 (1) : 32-35.

McCabe, W.L., Smith, J.M. (1999). *Operasi Teknik Kimia*. Edisi Keempat. Penerbit Erlangga Jakarta

Meroney, R.N. and Colorado, P.E., (2009). CFD simulation of mechanical draft tube mixing in anaerobic digester tanks. *Water research*. Vol. 43: 1040-1050

Paul L. Paul, Edward, Victor A. Atiemo-Obeng, Suzanne M. Kresta. (2004). *Handbook of Industrial Mixing Science and Practice*. Wiley Interscience. A Jhon Wiley % Sons, Inc. Publication