

Konsep Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Bahan Bakar Gas (Biogas) Sebagai Energi Pendingin Susu

Suroto Munahar^{1*}, Bagiyo Condro Purnomo², Andi Widiyanto³

^{1,2}Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

³Program Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Magelang

Universitas Muhammadiyah Magelang, Kampus 2, Jln. Mayor Jendral Bambang Soegeng Km.05,
Mertoyudan Magelang, Kode Pos 56172

Telp. (0293) 326945

* Email korespondensi : suroto@ummgl.ac.id

Abstrak

Boyolali dikenal sebagai kota susu, karena merupakan salah satu sentra terbesar penghasil susu sapi segar. Susu Boyolali telah memenuhi kebutuhan susu segar di wilayah sekitar Kabupaten Boyolali, seperti Solo, Klaten, dan Semarang. Namun demikian, produksi susu yang berlimpah tersebut tidak didukung oleh industri pengolahan susu. Permasalahan yang dialami mitra antara lain : peternak tak berdaya menghadapi ketentuan yang ditetapkan industri pengolahan susu, terutama soal penetapan standar kualitas produksi susu yang terlalu tinggi, ketidaktepatan waktu pemerasan dengan waktu pengambilan susu segar untuk ditampung di KUD; pemanfaatan peralatan pendingin susu yang dimiliki dari bantuan pemerintah belum maksimal. Hal tersebut karena alat pendingin susu memerlukan energi listrik yang sangat tinggi, sehingga biaya produksi sangat tinggi. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk membantu mitra supaya dapat memanfaatkan energi dari biogas sebagai energi mendinginkan dan mengawetkan susu. Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah dengan mengembangkan konsep teknologi pemanfaatan BBG (biogas) sebagai energi pendingin susu. Konsep yang ditawarkan berupa pengelolaan secara komunal baik aspek produksi maupun aspek manajerial.

Kata Kunci : Biogas, Bahan Bakar Gas (BBG), Susu.

Pendahuluan

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan menjadi salah satu urgensi dalam pengembangan teknologi nasional untuk mencapai kemandirian teknologi, terutama pada teknologi pembangkit listrik dengan penggunaan bahan bakar gas (BBG) dengan Biogas (Ristekdikti, 2016). Hal ini dilatarbelakangi oleh ketersediaan minyak fosil baik skala nasional maupun internasional yang semakin berkurang, sehingga sangat membutuhkan sumber energi baru. Salah satu langkah yang diambil untuk mengatasi permasalahan ini dengan mengembangkan pemanfaatan energi alternative terutama energi baru dan terbarukan. Selama 5 tahun terakhir konsumsi energi nasional mengalami peningkatan sangat signifikan. Kondisi ini mendorong diversifikasi energi nasional untuk pemenuhan kebutuhan energi. Peraturan Pemerintah (PP) No. 5 Tahun 2006 tentang mix pelaksanaan diversifikasi energi nasional mulai digalakkan.

Negara menargetkan pemenuhan kebutuhan energi dan tersuplai dengan energi bahan bakar gas 30% dan *renewable* mencapai 17% (Elinur, 2010). Biogas sebagai salah satu jenis energi baru dan terbarukan yang memiliki beberapa kelebihan. Energi biogas dapat *direnewable* sehingga peluang *sustainable* energi sangat besar (Oktavia & Firmansyah, 2016). Produk energi biogas lebih ramah terhadap lingkungan, karena dapat dinetralkan oleh alam sekitar. Selain itu biogas dapat difungsikan sebagai bahan *Solid Oxide Fuel Cell* - SOFC (Saadabadi et al., 2019) dan *Direct Biogas Solid Oxide Fuel Cell* - DB-SOFC (Saengprajak et al., 2019). Energi biogas dapat diperoleh dari hasil perlakuan proses *fermentasi* bahan-bahan organik melalui aktivitas *anaerobic*. Metana (CH₄), Hidrogen (H₂), Oksigen (O₂), Nitrogen (N₂) dan Hidrogen Sulfida (H₂S) merupakan senyawa biogas yang mudah terbakar (Abdul, 2017). Selain itu biogas dapat diperoleh dari limbah *etanol* (Gita, 2013), kompos (Destilia, 2012), maupun kotoran hewan (Varho et al., 2019; Darmawati, 2009).

Pengembangan teknologi biogas saat ini mulai ditingkatkan. Negara-negara Eropa mulai menggunakan teknologi biogas pada bidang transportasi dan *electricity* (Scarlat, et al., 2018; Torrijos, 2016). Dalam meningkatkan kualitas biogas ada beberapa cara yang ditempuh. Penggunaan *filter* dengan bahan dasar *carbon* dan pemurnian biogas menggunakan zat *calcium hydroxide* and *amine solution* (Fournier, 2017). Panas matahari yang memiliki temperature mencapai 60°C lebih, dapat dimanfaatkan untuk menambah kuantitas biogas yang dihasilkan oleh *aerobik* (Rasul, 2019). Selain memiliki kelebihan, pengembangan teknologi biogas juga memiliki kekurangan, diantaranya masih minimnya litbang dan data-data teknis. Dalam kurun waktu tertentu telah ditemukan lebih dari 50% instalasi biogas produktif gagal berfungsi selama dua tahun. Beberapa instalasi teknologi biogas tidak dapat mempertahankan kualitas produksinya. Hal ini disebabkan karena inputan *digester* sebagai *reactor* biogas memiliki kualitas *logistic* yang kurang baik (Tumusime et al., 2019). Disamping itu biogas memiliki beberapa gas pengotor, diantaranya H₂O, CO₂, SO₂ dan H₂S. Namun demikian, Berdasarkan kelebihan yang dimiliki biogas, maka biogas masih dapat dijadikan sebagai salah satu sumber energi alternative untuk membantu memenuhi kebutuhan mix energi nasional.

Kelompok Tani Ternak Tani Makmur sebagai salah satu kelompok tani ternak yang beralamatkan di Kecamatan Cepogo Boyolali merupakan kelompok tani ternak yang sangat aktif. Kelompok ini memiliki sekitar 40 orang anggota dengan jumlah sapi ternak mencapai puluhan, sehingga kotoran sapi yang dihasilkan sudah dapat diolah menjadi biogas dengan jumlah gas cukup banyak. **Namun**, pemanfaatan biogas belum optimal. Selama ini biogas hanya digunakan untuk memasak saja sehingga sering kelebihan biogas. Disisi lain kebutuhan penggunaan listrik untuk penyimpanan susu cukup besar. Kondisi ini disebabkan karena susu dihasilkan peternak sapi harus disimpan dalam almari pendingin. Jika susu hasil peternak sapi tidak disimpan dalam almari pendingin, maka susu akan cepat basi, sehingga akan mengakibatkan kerugian pada petani ternak. Saat ini almari pendingin susu saat ini yang ada masih menggunakan energi listrik dari PLN. Melihat permasalahan yang ada, maka pada

kegiatan ini mengusulkan konsep pengembangan teknologi implementasi pemanfaatan BBG (biogas) sebagai pembangkit energi listrik sebagai penggerak almari pendingin susu secara komunal. Konsep yang ditawarkan dengan membuat sistem *generator* pembangkit listrik dengan menggunakan sumber energi dari biogas.

Metode Pelaksanaan

Pada tahap awal untuk pengembangan teknologi pemanfaatan biogas perlunya mengenali secara terperinci tentang permasalahan yang ada, diantaranya mengetahui kelebihan, kekurangan dan potensi pengembangan pemanfaatan biogas. Setelah mengetahui kondisi ini, perlu dibangun tentang pengembangan teknologi pemanfaatan biogas. Selama ini biogas yang ada dalam Kelompok Tani Makmur Cepogo Boyolali hanya digunakan kebutuhan memasak, sehingga perlu pengembangan teknologi untuk pemanfaatan energi biogas. Instalasi baik dari *digester* terlihat dalam gambar 1 disalurkan langsung menuju dapur. Jumlah gas yang dihasilkan dari *digester* cukup banyak sehingga potensi pemanfaatan biogas sebagai energi penggerak untuk menghidupkan alat penyimpan dan pendingin susu sangat besar.



(a)

(b)

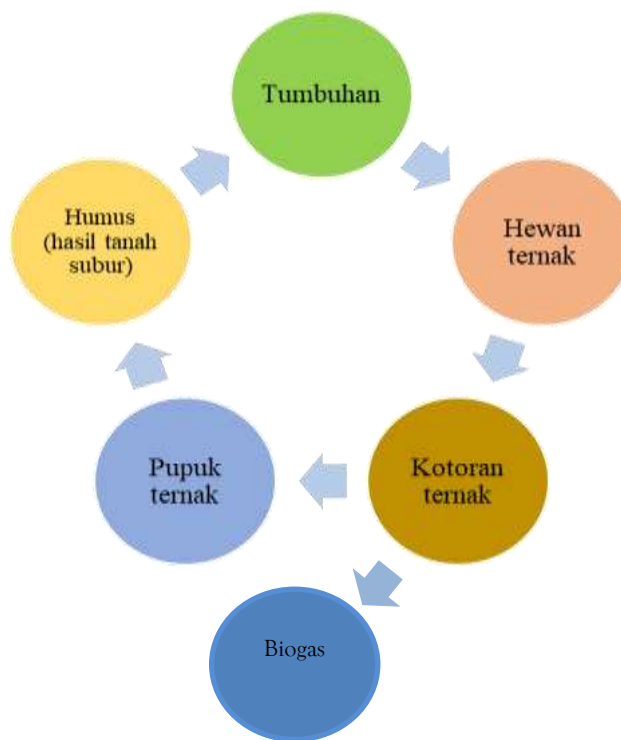
Gambar 1. Instalasi pipa gas dari *digester* (a) dan pipa saluran untuk memasak di dapur (b).

a. Pengembangan *Plant* Biogas Terintegrasi

Konsep pengembangan *plant* biogas harus memperhatikan dengan teknologi, ketersediaan *resource* inputan maupun manajerial pengelolaan biogas. Kandungan bahan bakar yang ada pada biogas biasanya memiliki prosentase 40% - 70% serta unsur pengotor berupa H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S . Unsur pengotor pada biogas dapat menyebabkan penurunan kualitas biogas serta dapat menyebabkan korosi pada logam. Zat ini dapat diminimalisir dengan menggunakan proses teknologi pengelolaan biogas secara intensif. Kualitas inputan *logistic* pada *digester* biogas

sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pembuatan produksi *plant* biogas harus mengetahui proses konversi energi biogas dan siklus biogas.

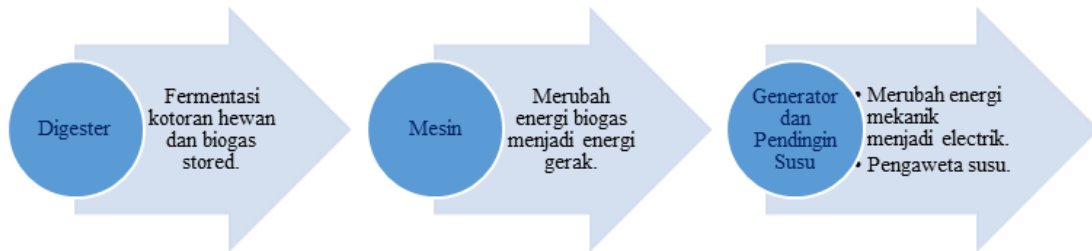
Proses siklus biogas yang dapat *renewable* energinya dari hasil pengelolaan kotoran hewan baik *fases* padat maupun cair atau limbah organik industri. Siklus biogas dimulai dari hasil kotoran hewan atau limbah organik industri melalui proses fermentasi. Hasil sisa pengelolaan biogas berupa kotoran padat yang dapat diolah menjadi pupuk organik siap pakai. Tanah lahan pertanian, perkebunan sangat membutuhkan unsur hara yang diperoleh dari hasil penguraian kotoran hewan/pupuk organik maupun yang lainnya. Tumbuhan dapat hidup dengan baik apabila mendapat asupan nutrisi dari pupuk organik yang hasilnya hewan dapat mengambil *protein* maupun zat - zat dari tumbuh-tumbuhan. Adapun siklus *renewable* biogas terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Siklus *renewable* biogas dari kotoran hewan.

Dalam hukum kekekalan energi telah dinyatakan bahwa energi tidak bisa dimusnakan atau diciptakan. Namun energi akan berpindah dari energi satu ke energi lain. Energi biogas berasal dari kotoran hewan ternak atau limbah organik yang dilakukan proses fermentasi. *Engine* pada *genset* sebagai penghasil energi listrik berasal dari proses perubahan energi pengambilan panas pembakaran biogas di mesin menjadi energi gerak. *Generator* pada *genset*

merubah energi gerak yang dihasilkan oleh mesin menjadi energi listrik melalui perubahan medan magnet. Almari pendingin susu merubah energi listrik menjadi energi pembuangan kalor dalam ruangan *freezer*. Proses perubahan energi biogas pada siklus pendingin susu terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses perpindahan energi biogas.

Dalam pembuatan plant biogas selain mengetahui proses perubahan energi dan siklus biogas juga perlu mengetahui *resource* sumber energi, *layout plant* strategi untuk memudahkan penanganan dalam produksi biogas maupun posisi distribusi biogas. *Plant* yang digunakan untuk memproduksi biogas dari hewan ternak sapi memiliki beberapa bagian, diantaranya :

1. Tempat pakan ternak.

Tempat pakan ternak paling ideal ditempatkan paling atas. Sarana transportasi pengangkut pakan ternak dirancang mudah dalam handling pakan ternak.

2. Kandang ternak .

Untuk menjaga kesehatan hewan ternak, kandang dibuat dengan posisi agak miring kearah membelakangi hewan ternak. Kotoran dan *urine* agak cenderung mengalir menjauhi hewan ternak. Pembersihan kandang dilakukan setiap hari, sehingga kondisi hewan ternak selalu bersih.

3. *Primary pit*.

Penampungan *fases* cair dan padat dari kotoran hewan ternak tidak diperbolehkan bercampur dengan ranting atau benda ukuran besar. Material yang diperbolehkan masuk ke *primary pit* berupa kotoran ternak berupa *fases* padat/cair. Untuk itu perlu dipasangkan *filter* dipintu masuk *primary pit*. Setelah masuk ke *primary pit* kotoran ternak, *urine* dan air akan dialirkan ke *fermentasi residu store*.

4. *Fermentasi residu store*.

Fermentasi residu store sebagai tempat *fermentasi* antara kotoran ternak, *urine*, air maupun sumber *resource* lain yang berasal dari limbah organik dari industri misalnya industri tahu. Tempat ini *resource* akan dirangsang oleh bakteri *anaerobic* untuk memproduksi biogas.

5. *Digester*.

Material yang berasal dari *fermentasi residu store* selanjutnya akan dikirim ke *digester*. *Digester* akan terjadi produksi biogas secara perlahan dan siap untuk dimanfaatkan ke media pengguna biogas. Biogas yang dihasilkan dalam *digester* ditampung terlebih dahulu dalam *gas stored tank*.

6. *Gas stored tank*.

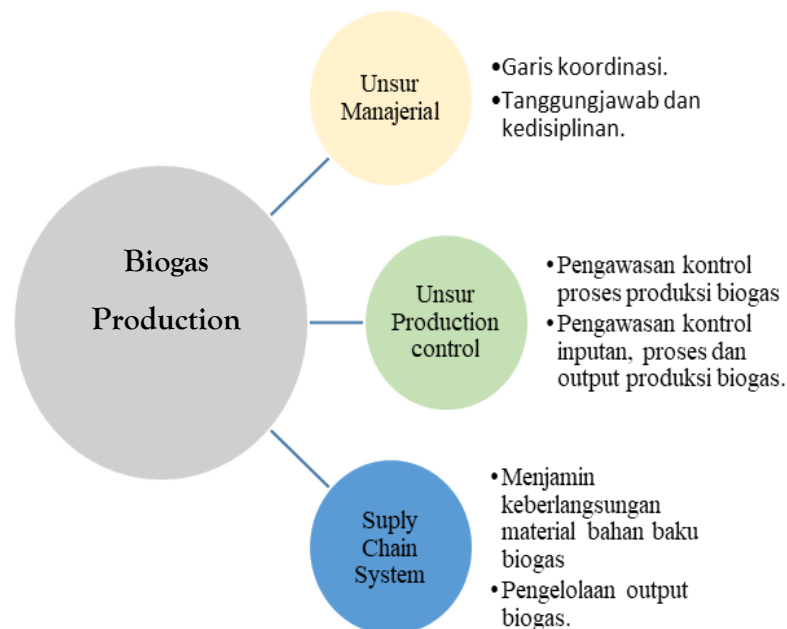
7. *Gas network*.

8. *Gas treatment plant*.

Biogas memiliki zat pengotor yang dapat menurunkan kualitas gas diolah dalam *treatment plant*. *Gas treatment plant* berupa *filtering* gas yang terbuat dari kassa, carbon dan zat – zat lain yang dapat menetralkan biogas.

9. *Generator set (Genset)*.

Genset sebagai generator pembangkit listrik tenaga biogas dipasangkan setelah pipa saluran keluar dari *gas treatment plant*. *Genset* pembangkit listrik tenaga biogas dapat bekerja dengan baik, jika biogas yang dihasilkan harus mencukupi terhadap *flow rate*-nya terhadap kebutuhan mesin. Untuk *digester* yang menghasilkan biogas tidak stabil, sangat membutuhkan *gas stored tank*. Bagian ini difungsikan sebagai tempat penyimpanan sementara biogas.

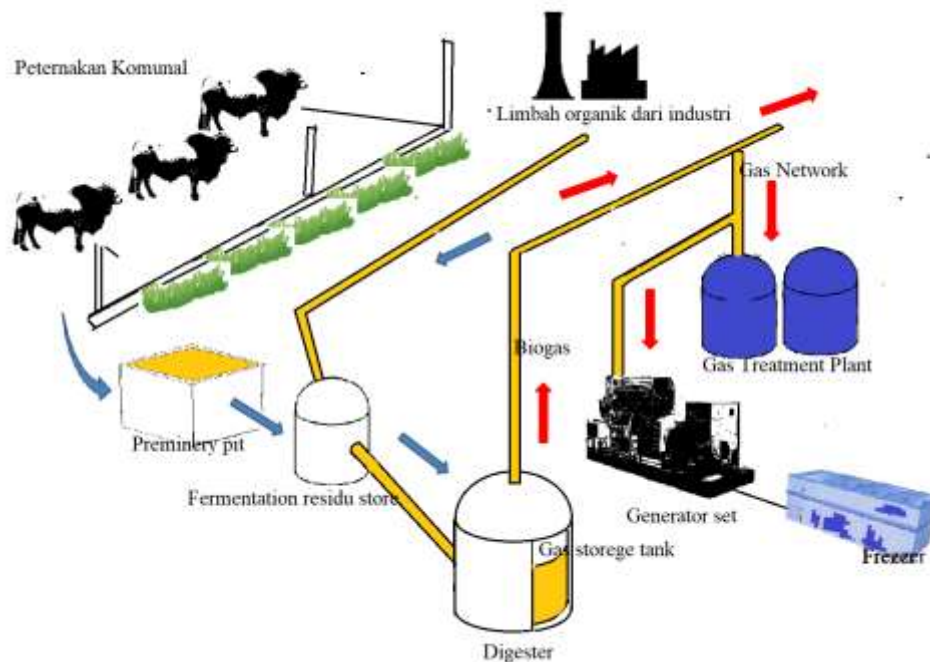


Gambar 4. Manajerial pengelolaan biogas secara terintegrasi dengan komunal.

b. Pengelolaan Pemanfaatan Biogas Secara Komunal

Dalam pengelolaan biogas di Kelompok Tani Ternak (KTT) kondisi saat ini masih parsial. Masing – masing peternak memiliki tempat sendiri dalam memelihara hewan ternaknya. Kondisi ini memiliki kelemahan dalam pengelolaan produksi biogas dalam jumlah besar. Hal

ini disebabkan tidak ada standar pengelolaan dan *quality control* untuk menjamin produksi biogas. Konsep pengelolaan pemanfaatan biogas dengan menggunakan konsep secara komunal. Namun, dalam pengelolaan secara komunal tidak akan berjalan dengan baik jika tidak memiliki garis koordinasi dan tanggung jawab pengelolaan. Agar produksi biogas dapat berkualitas, sistem komunal memiliki beberapa aspek pendukung, diantaranya aspek manajerial. Kebutuhan pengelolaan secara professional memungkinkan kejelasan dalam pembagian tanggung jawab pekerjaan dan garis koordinasi. Unsur *production control* memiliki bagian urgen dalam pengelolaan biogas secara integrasi. Pengawasan proses produksi dari bahan baku, proses produksi dan output produksi biogas membutuhkan keseriusan pengelolaan. *Supply chain system* memungkinkan untuk menjamin *sustainable* dari sisi bahan baku, material, hasil produksi biogas dari hulu sampai hilir. Konsep manajerial pengelolaan biogas secara terintegrasi dengan komunal terlihat dalam gambar 4.



Gambar 5. Rancangan pengembangan biogas terintegrasi secara komunal.

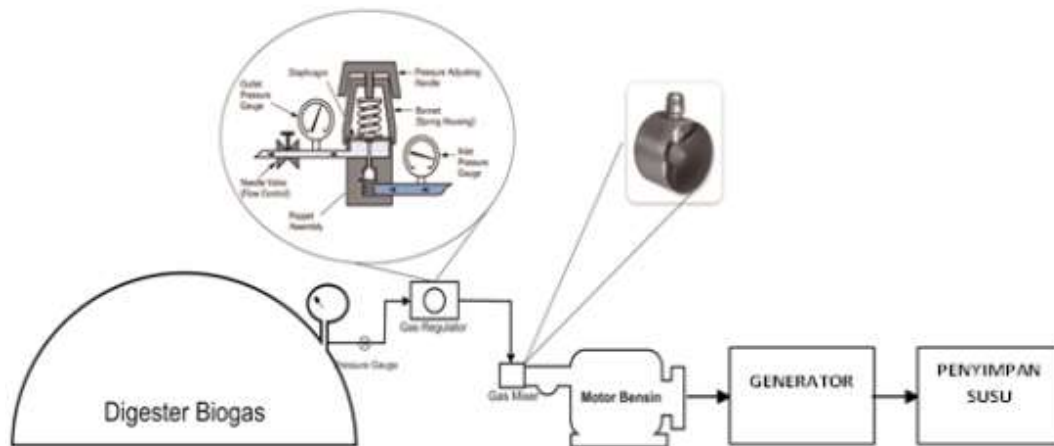
Hasil Dan Pembahasan

Hasil yang akan diperoleh dari hasil rancangan pengembangan biogas terintegrasi secara komunal diantaranya memudahkan dalam meningkatkan kualitas biogas dengan jumlah produksi cukup besar. Rancangan plant biogas secara komunal memiliki beberapa aspek yang perlu diperhitungkan. Aspek lokasi peternakan komunal diaplikasikan untuk memudahkan penanganan produksi biogas. Tempat untuk penempatan pakan ternak dibuat posisi paling atas. Kondisi ini memudahkan perpindahan pakan ternak. Pembuangan kotoran hewan ternak baik berupa *fases* padat maupun cair dirancang dengan konstruksi miring ke belakang. Dengan

kontruksi ini *fases* akan cenderung menjauhi hewan ternak dan memudahkan dalam pembersihan kandang ternak. Kontruksi *primary pit* dipasangkan lebih rendah dari kandang tempat hewan ternak berada. *Fermentasi residu store* dan *digester* dipasangkan pada posisi paling rendah, sehingga *fases* dapat mengalir dengan bantuan gaya gravitasi. Biogas akan keluar dari *digester* ditampung dalam *gas stored tank*. Gas akan dikirim ke *gas treatment plant*. Tempat ini berisi tentang rangkaian *filtering* untuk mengeluarkan, menetralkan zat – zat yang membuat agar kualitas biogas semakin meningkat. *Genset* dipasangkan untuk merubah biogas menjadi pembangkit listrik. Listrik yang dihasilkan akan digunakan untuk menggerakkan *freezer* untuk mendinginkan susu. Adapun rancangan biogas *plant* terlihat dalam gambar 5.

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga biogas menggunakan proses konversi dari mesin bensin yang diintegrasikan dengan generator pembangkit listrik. Konversi mesin bensin ke mesin bahan bakar biogas memiliki beberapa modifikasi. Instalasi mesin dengan tenaga biogas memiliki beberapa bagian. Energi biogas yang dibangkitkan oleh *digester* dialirkan ke dalam *regulator*. Komponen ini difungsikan untuk menjaga tekanan biogas yang masuk ke mesin agar selalu konstan. Biogas masuk ke mesin melalui *mixture* yang telah disesuaikan dengan kebutuhan. Tekanan biogas yang akan masuk ke mesin dijaga pada tekanan 0,2 bar. *Pressure gauge* perlu dipasangkan pada *digester* untuk memonitor tekanan biogas yang ada pada *digester*. *Mixture* yang dipasangkan pada mesin sebagai pencampur antara biogas dengan udara agar diperoleh campuran yang homogen. Dimensi *mixture* dibuat berdasarkan kapasitas mesin (*centimetre cubic - cc*) dan daya yang dihasilkan oleh generator listrik. *Water filter* sebagai penahan uap air dipasangkan pada saluran masuk ke mesin agar uap air agar tidak ikut terbakar oleh mesin.

Penyesuaian saat pengapian mesin (*ignition timing*) maupun tekanan kompresi perlu disesuaikan berdasarkan kebutuhan. Hal ini perlu dilakukan karena rambatan api dari biogas lebih lambat dibandingkan dengan rambatan api pada bensin. *Ignition timing* perlu diajarkan beberapa derajat sebelum *Bottom Top Dead Center (BTDC)*, agar *ignition timing* lebih awal menyala. Pengajuan *ignition timing* dilakukan dengan menggeser *igniter* pada *ignition system*. Campuran biogas terhadap udara yang masuk ke mesin agar lebih homogen perlu dilakukan penyelan sesuai dengan kondisi biogas. Penyetelan perlu dilakukan mengingat campuran *stoichiometry* biogas dan campuran *stoichiometry* bensin berbeda. Penyetelan perlu dilakukan pada posisi *main jet* dan *idle mixture screw*. Selanjutnya mesin yang sudah dimodifikasi menjadi mesin dengan bahan bakar biogas akan menggerakkan generator listrik. Listrik yang dihasilkan berupa aliran arus *Alternating Current (AC)* yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghidupkan *freezer* pendingin susu. Rancangan pemanfaatan biogas pada pembangkit listrik tenaga BBG (Biogas) terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan pemanfaatan biogas pada pembangkit listrik tenaga BBG (Biogas).

Kesimpulan

Dari konsep yang ditawarkan ada beberapa yang perlu diperhatikan, diantaranya dalam pelaksanaan komunal memutuhkan pengelolaan secara professional. Garis tanggung jawab maupun garis koordinasi menjadi salah satu kunci keberhasilan pengelolaan. Unsur lain yang perlu diperhatikan tentang pengelolaan produksi biogas. Penjagaan kualitas inputan *digester*, kebersihan tempat *primary fit*, saluran buangan *digester*, *treatment* pengelolaan biogas dan pemeriksaan kebocoran biogas.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan ini merupakan salah satu bagian dari hasil Pengabdian Kepada Masyarakat telah dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) pada Tahun Anggaran 2018-2019 dan Universitas Muhammadiyah Magelang. Pelaksanaan untuk produksi biogas secara komunal akan dilaksanakan tahun 2020 dengan tujuan untuk mewujudkan kawasan mandiri energi. Ucapan terima kasih diucapkan untuk kedua lembaga tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul M. R. dan Masrukhi. (2017). Optimasi Kandungan Metana (CH₄) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben Abdul. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 10(2). Retrieved from <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>
- Darmawati, D. (2009). Peranan Biogas Limbah Ternak Sapi Bantuan PT . Petrochina Bagi Peternak Di Kabupaten Tanjung Jabung Timur Provinsi Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Peternakan*, XII(4), 191-195.
- Destilia A., M. B. P. dan D. B. (2012). PENGARUH JENIS SAMPAH, KOMPOSISI MASUKAN DAN WAKTU TINGGAL TERHADAP KOMPOSISI BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(1), 17-23.

- Elinur, P. D. S. dan M. F. (2010). PERKEMBANGAN KONSUMSI DAN PENYEDIAAN ENERGI DALAM PEREKONOMIAN INDONESIA. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, 2(1), 97-119.
- Fournier, J. (2017). Development Biogas Purification 15th International of Development of Biogas Purification System Using Calcium Hydroxide and Amine Solution Using Calcium Hydroxide and Amine Solution Assessing the feasibility of using the a heat demand-outdoor Aphichat fun. In *Energi Procedia* (Vol. 138, pp. 441-445). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.196>
- Gita K. dan Ika R. (2013). PENGARUH pH DAN RASIO COD : N TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DENGAN BAHAN BAKU LIMBAH INDUSTRI ALKOHOL (VINASSE). *Jurnal Teknik Kimia Dan Industri*, 2(3), 1-7. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtki/article/view/2805>
- Oktavia, I., & Firmansyah, A. (2016). Pemanfaatan Teknologi Biogas sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif di Sekitar Wilayah Operasional PT . Pertamina EP Asset 2 Prabumulih Field (Biogas Technology Utilization as Alternative Fuel Source Around Operational Area of PT . Pertamina EP Asset 2 Pr. *Jurnal Resolusi Konflik, CSR, Dan Pemberdayaan*, 1(1), 32-36. Retrieved from <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalcare/article/viewFile/15292/11189>
- Rasul, G. (2019). Opportunities for solar assisted biogas plant in subtropical climate and Cooling climate Opportunities for International solar assisted biogas in subtropical in Australia : A review in Australia : A review Assessing the feasibility using the heat temperat. In *Energi Procedia* (Vol. 160, pp. 683-690). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.192>
- Ristekdikti. (2016). *RENCANA INDUK Riset NASIONAL 2015-2045*. Retrieved from <http://risbang.ristekdikti.go.id/regulasi/RIRN.pdf>
- Saadabadi, S. A., Thallam, A., Fan, L., Lindeboom, R. E. F., Spanjers, H., & Aravind, P. V. (2019). Solid Oxide Fuel Cells fuelled with biogas : Potential and constraints. *Renewable Energi*, 134, 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.028>
- Saengprajak, A., Katcharoen, A., Chockua, W., & Piamdee, J. (2019). Prospective study of application the direct-biogas solid oxide fuel Prospective study of application the solid oxide fuel cell system to the biogas plant in Thailand cell system to the biogas plant in Thailand Assessing the feasibility of using the heat d. In *Energi Procedia* (Vol. 158, pp. 978-983). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.239>
- Scarlat, N., Dallemand, J., & Fahl, F. (2018). Biogas : Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energi*, 129, 457-472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Torrijos, M. (2016). State of Development of Biogas Production in Europe. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 881-889. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.043>
- Tumusiime, E., Kirabira, J. B., & Musinguzi, W. B. (2019). Long-life performance of biogas

systems for productive applications : The role of R & D and policy. *Energi Reports*, 5, 579–583. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.05.002>

Varho, V., Winquist, E., & Rikkonen, P. (2019). Is biogas an energi or a sustainability product ? - Business opportunities in the Finnish biogas branch. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1344–1354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.181>