

SISTEM PENGKONDISI SUHU SUBSTRAT LIMBAH ORGANIK DI SUBREAKTOR METANOGENESIS TEMPERATURE PHASED ANAEROBIC DIGESTION

TEMPERATURE ORGANIC WASTE CONDITIONING SYSTEM IN SUBREACTOR METHANOGENESIS TEMPERATURE PHASED ANAEROBIC DIGESTION

R. Biantoro Kusumo Setiawan¹, M. Ramdhan Kirom, M.Si², Suwandi, M.Si³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹bjantoroks@gmail.com, ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id, ³suwandi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penerapan teknologi produksi biogas berbahan baku limbah organik dapat dijadikan solusi untuk mengatasi krisis energi di masyarakat dan berfungsi pula sebagai proses pengurai zat berbahaya di dalam limbah organik. *Chemical oxygen demand* (COD) merupakan tolok ukur zat berbahaya yang terkandung pada limbah organik. Proses produksi biogas yang menggunakan metode *temperature phased anaerobic digestion* (TPAD) berjalan optimal menghasilkan gas metana pada suhu substrat 35 °C di subreaktor metanogenesis. Pada penelitian ini dirancang dan dibuat sistem pengkondisi suhu substrat di subreaktor metanogenesis. Cara kerja sistem pengkondisian suhu substrat ialah dengan mengontrol pemanasan air yang dialirkan ke selimut air di sekeliling subreaktor metanogenesis. Dilakukan pengujian sistem dengan membandingkan kinerja sistem antara sistem yang menggunakan pengkondisi suhu substrat dengan sistem yang tidak menggunakan pengkondisi suhu substrat. Dari hasil pengujian sistem diperoleh peningkatan produksi gas metana sebesar 100,71% dan peningkatan kemampuan mereduksi COD sebesar 96,95% dengan mengondisikan suhu substrat.

Kata kunci : biogas, TPAD, metanogenesis, sistem pengkondisi suhu substrat.

Abstract

Application of biogas production technology made from organic waste can be used as a solution to overcome the energy crisis in the community and function as decomposers process harmful substances in organic waste. Chemical oxygen demand (COD) is a measure of the harmful substances contained in organic waste. Biogas production process using the method of temperature phased anaerobic digestion (TPAD) runs optimally produce methane gas at a substrate temperature of 35 °C in subreactor methanogenesis. In this study was designed and created in the substrate temperature conditioning system subreactor methanogenesis. How it works is that the substrate temperature conditioning system by controlling the heating of water that flowed into the water blanket around subreactor methanogenesis. System testing is done by comparing the system performance between systems using the substrate temperature conditioning system that does not use the substrate temperature conditioning. From the test results obtained by the system increased production of methane gas by 100,71% and increased ability to reduce COD by 96,95% to condition the temperature of the substrate.

Keywords : biogas, TPAD, methanogenesis, conditioning system substrate temperature.

1 Pendahuluan

Gas bio metana merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan karena hampir tidak memiliki residu pembakaran, dapat dilihat pada penggunaannya pada teknologi motor bakar berbahan bakar metana. Keuntungan dari pemanfaatan teknologi produksi biogas berbahan baku limbah organik, yaitu : menurunnya kadar zat berbahaya terlarut di dalam limbah organik yang digunakan, hasil gas dapat dijadikan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil, proses produksi tidak menghasilkan polusi ke lingkungan, residu sisa proses bermanfaat sebagai pupuk organik [1].

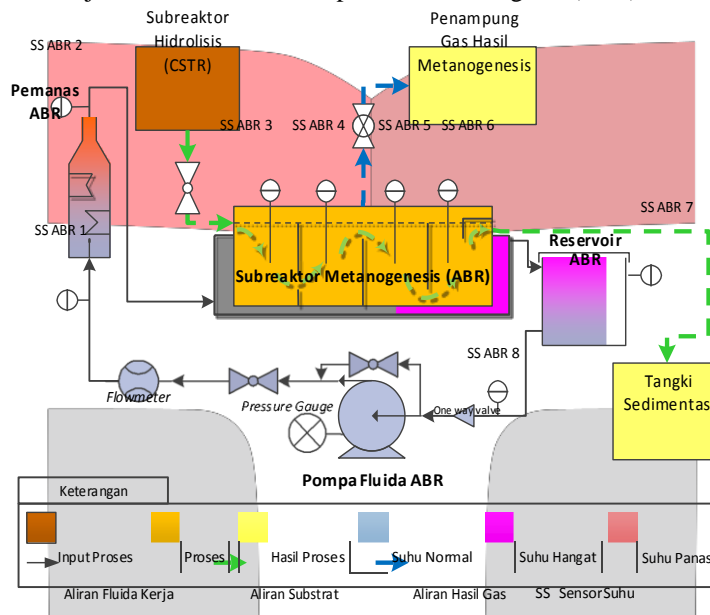
Pengkondisian substrat yang ideal dapat meningkatkan produksi hasil gas dan mengoptimalkan kemampuan mereduksi kadar limbah berbahaya didalam substrat [2]. Metode *temperature phased anaerobic digestion* (TPAD) menghasilkan gas metana pada proses metanogenesis dengan kondisi mesofilik antara suhu 20 °C sampai 40 °C, namun optimal pada suhu substrat 35 °C [3,4]. Sistem pengkondisi suhu substrat pada subreaktor metanogenesis bekerja dengan cara mengatur suhu air yang terdapat di sekeliling subreaktor metanogenesis. Subreaktor metanogenesis dilengkapi dengan selimut air dan peredam panas, sehingga proses pertukaran panas antara air yang dikondisikan di selimut air dan substrat di dalam subreaktor dapat menjadikan suhu substrat terkondisikan. Dalam proses pengkondisian dibuatlah beberapa aksi sistem yang terkarakterisasi sehingga dapat mengakomodasi target capaian suhu dari gangguan lingkungan bahkan internal proses itu sendiri.

2 Pembahasan dan Analisis

2.1 Perancangan Sistem Pengkondisi Suhu Substrat

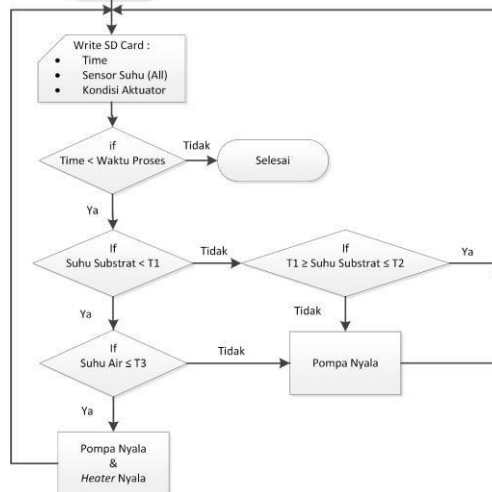
Proses diawali dengan pengukuran suhu awal substrat, selanjutnya dilakukan pengukuran suhu awal air. Data suhu awal diolah kedalam logika kerja sistem menggunakan mikrokontroler arduino sampai memutuskan aksi yang dilakukan kepada sistem. Aksi yang dilakukan berdampak pada pertukaran panas antara selimut air dan substrat agar suhu substrat dapat terkondisikan. Hasil pengkondisian diukur kembali untuk disimpan di dalam kartu SD. Proses pengkondisian berulang terus menerus hingga target capaian dan waktu proses tercapai.

Perancangan diawali dengan pemilihan komponen perangkat keras berdasarkan kebutuhan sistem untuk mengakomodir pengkondisian suhu substrat. Penentuan laju alir maksimum air yaitu 7 lpm di ketinggian 1,5 meter berdasarkan percobaan pendahuluan bertujuan mendapat hasil karakterisasi dari kondisi laju alir maksimal di selimut air. Disebabkan alasan tersebut penggunaan pompa sentrifugal berdaya 125 watt yang mampu mendorong air hingga berlaju alir 15 lpm kontinu di ketinggian 1,5 meter sebagai pompa fluida kerja. Pemilihan pemanas air listrik berdaya 1000 watt berdasarkan kebutuhan maksimum energi panas sistem sebesar 2016 kJ yang dipenuhi selama 6 jam. Regulator fluida kerja pada sistem digantikan dengan perpipaian feed back control flow pada pompa sehingga dapat diatur laju alir air dan tekanan statik air. Pada gambar 2.1 disajikan integrasi komponen perangkat keras sistem beserta aliran kerja sistem dalam bentuk process flow diagram (PFD).



Gambar 2.1 PFD Pengkondisi Suhu Substrat Subreaktor Metanogenesis

Penggunaan perangkat mikrokontroler arduino sebagai komponen pengolah data menjadikan pengendalian sistem dapat diatur menggunakan perangkat lunak. Hasil unggah perangkat lunak ke dalam mikrokontroler arduino berisikan runutan pengolahan data dan logika kerja sistem. Pada gambar 3.3 tertera logika kerja sistem dengan 3 variabel yang dapat disesuaikan dengan karakter kerja sistem. Perangkat lunak pengkondisian suhu substrat dapat digunakan setelah pengisian variabel pada logika kerja sistem yang merupakan hasil dari analisis karakter kerja pada tahap selanjutnya. Variabel pertama adalah T1 sebagai batas bawah rentang target pengkondisian suhu substrat. Batas atas dari rentang target pengkondisian suhu substrat ialah variabel kedua atau T2. Sementara, batas atas dari suhu air diwakili oleh variabel ketiga atau T3.



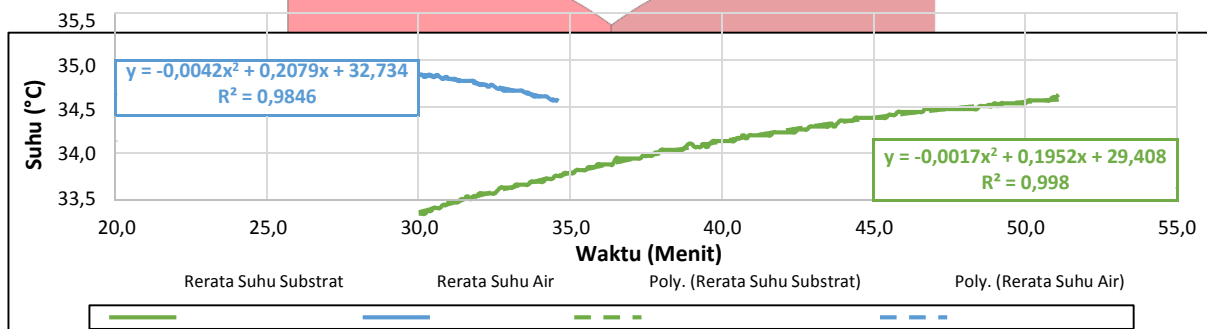
Gambar 2.2 Rancangan Diagram Alir Pemrograman

2.2 Analisis Karakter Kerja Pengkondisi Suhu Substrat

Pada sistem baru dilakukan pengamatan karakter kerja yang bertujuan meningkatkan kualitas pengkondisian dalam pengambilan keputusan penggunaan aksi [5]. Pada sistem pengkondisi suhu substrat memiliki beberapa aksi unik untuk melakukan pengkondisian suhu substrat, meliputi :

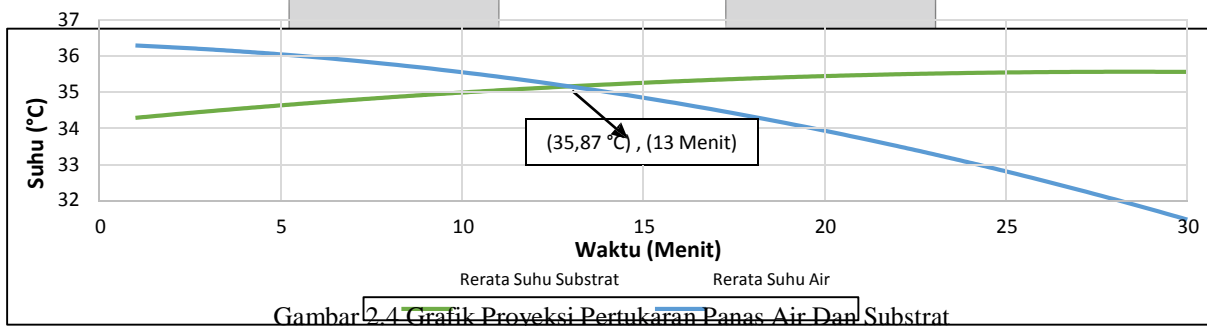
- 1) Aksi Pemanasan Air.
- 2) Aksi Pemanasan Substrat.
- 3) Aksi Pendinginan Substrat Dengan Sirkulasi Air.
- 4) Aksi Pendinginan Substrat Secara Naturalisasi.
- 5) Perpindahan Panas Air ke Substrat.

Hasil proses karakterisasi aksi kerja sistem didapatkan karakter pemanasan substrat sebesar 6,609 menit/°C, maka dengan permisalan suhu awal substrat 25 °C dibutuhkan waktu 66 menit untuk membuat suhu substrat mencapai target pengkondisian 35 °C. Dari waktu pemanasan substrat 66 menit capaian suhu air ialah 36,93 °C dengan karakter pemanasan air 0,18 °C/menit. Didapatkan nilai variabel batas suhu air atau T3 ialah 37 °C. Pada penentuan nilai variabel batas maksimal rentang target pengkondisian suhu substrat dapat dihitung dari karakter perpindahan panas air ke substrat yang spesifik pada selisih suhu 2 °C antara suhu substrat dan suhu air. Penggunaan karakter tersebut mewakili dari proses pertukaran panas air dengan substrat yang terjadi setelah proses pemanasan suhu substrat yang nilai capaiannya ialah 37 °C pada suhu air dan 35 °C pada suhu substrat dari perhitungan variabel T3. Didapatkan karakter penyerapan panas oleh substrat yang tersajikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik Penyerapan Panas Air Spesifik 2 °C

Dari karakter yang didapat dibuat proyeksi proses pertukaran panas air dan substrat dengan asumsi nilai awal sesuai dengan capaian proses pemanasan substrat sebelumnya yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Didapatkan titik potong 25,87 °C saat 13 menit yang dapat merepresentasikan maksimal nilai overshoot capaian suhu substrat dikarenakan asumsi suhu air sebagai sumber panas konstan, sementara pada realitanya panas air akan menurun disebabkan penyerapan panas oleh substrat. Berdasarkan perhitungan tersebut dapat ditentukan batas atas nilai variabel suhu substrat atau T2 ialah 36 °C.

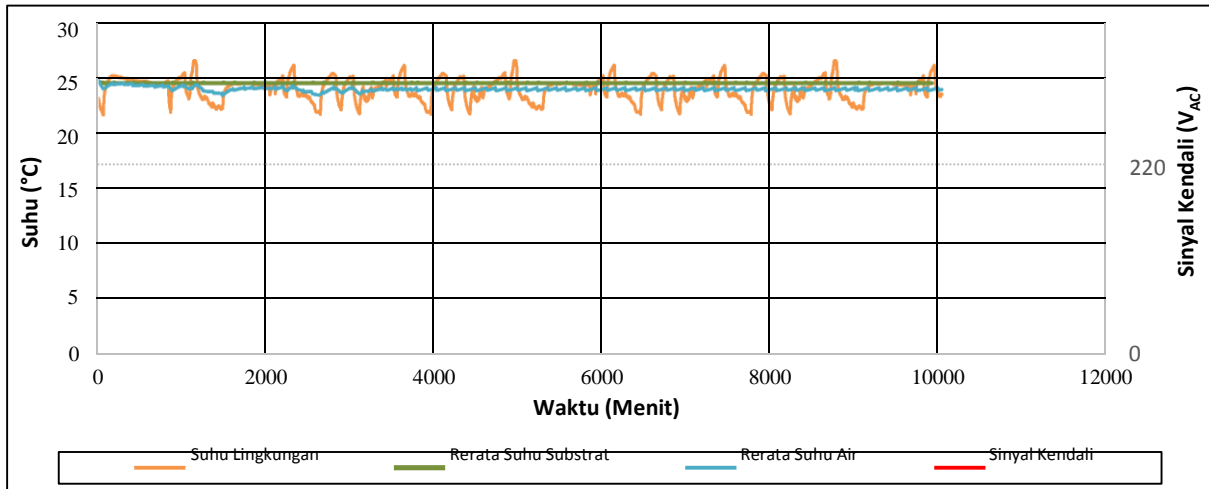


Gambar 2.4 Grafik Proyeksi Pertukaran Panas Air Dan Substrat

Rancangan pengkondisian suhu substrat dibuat dalam rentang yang kecil diatas target pengkondisian suhu substrat ideal dengan harapan pelepasan panas substrat ke lingkungan terakomodir dengan baik [7]. Nilai variabel batas bawah rentang target pengkondisian suhu substrat atau T1 ditentukan dari nilai target pengkondisian suhu substrat adalah 35 °C. Penggunaan nilai rentang sebagai target capaian pengkondisian suhu substrat berdasarkan pada karakter perangkat kendali kontrol on-off yang dibuat mengharuskan target capaian dalam bentuk nilai rentang. Setelah didapatkan dan dimasukkan semua nilai variabel pada logika kerja sistem, maka dapat diunggah ke dalam mikrokontroler arduino.

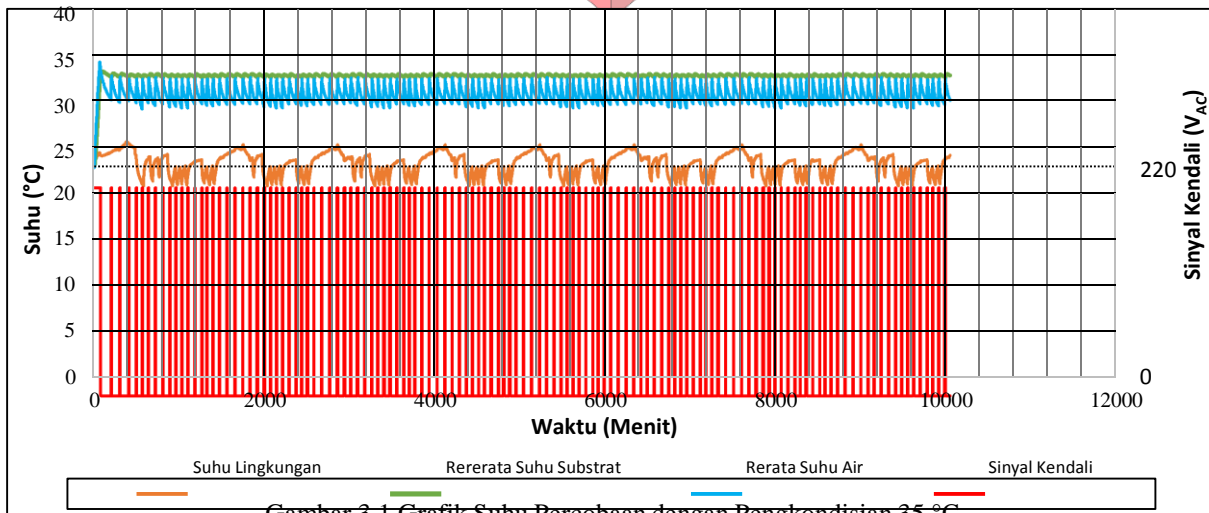
3 Hasil Pengujian Sistem Pengkondisi Suhu Substrat

Percobaan yang pertama dilakukan dengan memasukan substrat baru yang di mana sistem pengkondisi hanya berperan sebagai perekam data suhu tanpa ada satu pun aktuator yang bekerja. Pada gambar 3.1 memperlihatkan hasil data pengamatan suhu di sistem pengkondisi suhu substrat dapat terpantau bahwa rerata suhu substrat pada saat percobaan cenderung stabil di 26 °C, rerata suhu air yang fluktuatif tapi memiliki kecenderungan pada suhu 24,5 °C, dan suhu lingkungan yang begitu acak kecenderungannya. Berdasarkan data peranan selimut air pada subreaktor sangat membantu dalam peredaman gangguan lingkungan terhadap perpindahan panas pada substrat. Dalam proses produksi biogas tidak menghasilkan panas dari substrat itu sendiri [4].



Gambar 3.2 Grafik Suhu Percobaan Tanpa Pengkondisian

Pada percobaan yang kedua, keseluruhan perangkat sistem pengkondisi suhu substrat bekerja pada percobaan ini. Dalam proses pengkondisian suhu substrat targetnya dibuat pada rentang 35~36 °C dengan kondisi maksimum suhu air adalah 37 °C. Dari data yang terlihat pada gambar 3.2 capaian suhu air cenderung stabil di 35 °C. Walaupun dari sisi target capaian pengkondisian sudah sangat baik dengan error 0,41 °C, penggunaan energi yang pada proses pengkondisian ini belum efisien.



Gambar 3.1 Grafik Suhu Percobaan dengan Pengkondisian 35 °C

Sampel produk gas serta sampel substrat dari proses tanpa menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat dan proses menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat dilakukan pengujian di laboratorium uji yang hasilnya terpaparkan pada tabel 3.1. Hasil pengujian tersebut menjelaskan bahwa produk gas metana dari hasil proses yang menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat meningkat konsentrasinya sebesar 2 kali lipat dibandingkan dengan hasil proses tanpa menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat serta kemampuan proses untuk mereduksi COD pada substrat meningkat sebesar hampir 2 kali lipat bila dibandingkan dengan kemampuan proses tanpa menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Hasil Gas dan Substrat

Parameter Uji	Tanpa Pengkondisian Suhu Substart	Pengkondisian Suhu Substart 35°C
Kadar Hasil Gas Metana Terkandung (%)	21,743	43,641
Peningkatan Hasil Gas Metana	100,71%	
Nilai COD Sebelum Proses (mg/l)	1732,242	1668,514
Nilai COD Setelah Proses(mg/l)	1066,541	405,615
Persentase Penurunan Nilai COD	38,43%	75,69%
Peningkatan Kemampuan Mereduksi COD	96,95%	

4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Karakter yang didapat dari tiap aksi sistem pengkondisi suhu substrat tertuang pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakter Kerja Aksi Sistem

Aksi Sistem	Suhu Terhadap Waktu	Waktu Terhadap Suhu
Pemanasan Air	0,135 °C/menit	7,385 menit/°C
Pemanasan Substrat	0,151 °C/menit	6,609 menit/°C
Pendingingan Sirkulasi	-0,0033 °C/menit	-303,03 menit/°C
Pendinginan Naturalisasi	-0,0071 °C/menit	-140,84 menit/°C
Perpindahan Panas ke Substrat	0,168 °C/menit	5,927 menit/°C

- 2) Perubahan produksi gas metana yang dihasilkan saat menggunakan sistem pengkondisian suhu substrat meningkat 100,71% dibandingkan pada saat tidak menggunakan sistem pengkondisi suhu substrat.
- 3) Peningkatan kemampuan mereduksi nilai COD pada limbah yang dipengaruhi penggunaan sistem pengkondisi suhu substrat adalah 96,95%.

Daftar Pustaka

- [1] Haryati, T. (2006). Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Wartazoa*, 16(3), 160-169.
- [2] Shihwu Sung., Harikishan Santha. (2001). Performance of Temperature-Phased Anaerobic Digestion (TPAD) System Treating Dairy Cattle Wastes. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 4, 301-310.
- [3] Chun-Feng Chu., Yu-You Li., Kai-Qin Xu., Yoshitaka Ebie., Yuhei Inamori., Hai-Nan Kong. (2008). A pH- and Temperature Phased Two-Stage Process for Hydrogen and Methane Production from Food Waste. *Int J Hydrogen Energy*, 33, 4739-4746.
- [4] Sriwulandari, L., Sembiring, T. (2014). Biomethane and biohydrogen from Biowaste/Wastewater. *Teknologi Indonesia*, 37(3), 123-135.
- [5] Frank Kreith. (1997). Prinsip Perpindahan Panas, ed 3 : Erlangga, Jakarta.
- [6] CW Chan., AP Roskilly. (2013). A review of chemical heat pumps, thermodynamic cycles and thermal energy storage technologies for low grade heat utilisation. *Applied Thermal Engineering*, 50,1257-1253.
- [7] Dr. J. Wiese., Dr. M. Haack. (2006). Instrumentation Control and Automation for Full-Scale Manure-Based Biogas Systems, *Water Science & Technology*, 54(9), 1-8.