

RANCANG BANGUN ALAT BANTU KERJA PENGEMASAN GAS BIO KE DALAM TABUNG MELON

Moh. Samsuri.
Asmungi
samz.jp99@gmail.com

ABSTRAK

Telah banyak upaya pengemasan gas bio dilakukan masyarakat, namun sejauh ini ada banyak kelemahan di dalamnya sehingga perlu ada penelitian lanjutan. Penelitian ini dimaksudkan untuk merancang secara ergonomis sebuah alat bantu kerja pengemasan gas bio ke dalam tabung melon. Dengan menggunakan peta tubuh Nordic dan pengukuran tingkat kelelahan, akhirnya diperoleh sebuah alat bantu kerja berbentuk pompa manual yang secara ergonomis telah terbukti dapat digunakan secara aman, nyaman dan tidak menimbulkan rasa sakit bagi penggunanya. Untuk bisa mengisi tabung melon hingga penuh hanya memerlukan 115 kali pemompaan dengan rata-rata tingkat kelelahannya hanya sebesar 15.1% (tidak melelahkan).

Kata kunci : alat bantu kerja, gas bio, tabung melon

ABSTRACT

There has been a lot of biogas packaging done by the community, but so far there are many weaknesses in it so there needs to be further research. This research is intended to ergonomically design a working tool for packaging of bio gas into melon tubes. Using the Nordic body map and measuring the fatigue level, a manual ergonomically shaped work auxiliary device has been proven to be safe, comfortable and painless for the user. To fully fill the melon tube requires only 115 pumps with an average fatigue level of 15.1% (not exhausting).

Keywords: work aid tool, biogas, melon tube

PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Peningkatan permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan. Selain itu, peningkatan harga minyak dunia semakin membubung juga menjadi alasan yang serius yang menimpa banyak negara di dunia terutama Indonesia. Lonjakan harga minyak dunia akan memberikan dampak yang besar bagi pembangunan bangsa Indonesia. Konsumsi BBM yang mencapai 1,3 juta/barel tidak

seimbang dengan produksinya yang nilainya sekitar 1 juta/barel sehingga terdapat defisit yang harus dipenuhi melalui impor. Menurut data Sudradjat (2004) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang.

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan presiden republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak (Presiden, 2006). Kebijakan tersebut menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak. Salah satu sumber energi alternatif adalah gas bio. Gas ini berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses *anaerobic digestion*. Proses ini merupakan peluang besar untuk menghasilkan energi alternatif sehingga akan mengurangi dampak penggunaan bahan bakar fosil.

Untuk bisa membuat gas bio tidak memerlukan teknologi tinggi dan tidak memerlukan biaya yang mahal. Karenanya dengan sedikit rangsangan dari pemerintah masyarakat dapat dengan mudah membuat reaktor gas bio secara mandiri (Hambali, 2007). Gas bio sebagai sumber energi alternative terbarukan mempunyai prospek ke depan yang sangat baik (Sudradjat. 2004). Disamping ramah lingkungan, terbarukan dan sangat murah sehingga gas bio dapat dipakai sebagai solusi atas semakin mahalnya energy listrik, minyak dan gas elpiji akhir-akhir ini.

Sejauh ini konsumen/pengguna gas bio masih terbatas pada masyarakat di sekitar reactor gas bio berada. Yang kebanyakan mereka adalah masyarakat bawah. Penggunaan pipa untuk menyalurkan gas bio ke rumah-rumah adalah cara yang sederhana bagi masyarakat untuk bisa memanfaatkan gas bio sebagai pengganti energy minyak dan listrik. Namun cara ini mempunyai beberapa persolan yang mendasar, yaitu pertama, untuk melakukan pipanisasi gas bio membutuhkan biaya yang cukup besar. Kedua, bila jaringan pipa itu sudah menyebar ke area pemukiman penduduk yang luas, maka aliran dan tekanan gas yang berada di ujung-ujung jaringan akan sangat kecil jauh dibawah batas minimal aliran dan tekanan gas. Akibatnya kompor tidak bisa menyala. Untuk itu bagi masyarakat yang rumahnya jauh dari reactor gas bio, untuk bisa jika ingin ikut memanfaatkan gas bio, maka pengemasan gas bio untuk saat ini memang menjadi satu-satunya cara yang harus ditempuh.

Sejauh ini sudah banyak upaya pengemasan gas bio yang telah dilakukan masyarakat mulai dari yang sangat sederhana hingga yang rumit beberapa diantaranya seperti tampak dalam Tabel 1. Ternyata masing-masing cara pengemasan itu mempunyai beberapa kelemahan yang sangat mendasar. Pengemasana gas bio dengan media ban mobil dan kantong plastic secara ekonomi sangat cocok bagi masyarakat bawah karena murah. Akan tetapi karena adanya resiko meletus dan kebakaran yang tinggi, cara pengemasan ini tidak direkomendasikan. Penggunaan kompresor untuk mengemas gas bio ke dalam tabung jauh lebih aman dan hasilnya jauh lebih optimal dibanding dengan penggunaan ban dan kantong plastic. Namun sisi ekonomi penggunaan kompresor terlalu mahal untuk masyarakat. Disamping itu biaya perawatan juga mahal karena menghendaki adanya tenaga ahli untuk mengoperisikannya. Untuk itu perlu adanya modifikasi dari upaya-

upaya tersebut agar bisa mengeliminir kelemahan-kelemahannya dan sebaliknya mempertahankan bahkan meningkatkan keunggulannya.

Mengacu pada kenyataan itu, maka penelitian kali ini dimaksudkan untuk merancang alat bantu kerja pengemasan gas bio yang aman, murah, mudah dan sekaligus nyaman terutama bagi kalangan masyarakat bawah. Perancangan diarahkan pada bentuk pengembangan dari metoda-metoda yang telah ada, yaitu dengan memanfaatkan tabung elpiji 3 kg (tabung melon) sebagai media kemasnya. Pemilihan ini mengingat hampir semua masyarakat sudah mempunyai tabung melon. Yaitu tabung melon pemberian pemerintah saat realisasi program konversi minyak tanah ke gas elpiji tahun 2007 yang lalu (Muhdori, 2010).

Tabel 1: Beberapa Metoda Pengemasan Gas Bio.

Metoda	Kelebihan	Kelemahan
 <p>Mengemas dalam ban mobil (Manik, 2010).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Struktur sederhana 2. Mudah dilakukan 3. Murah pembuatan dan perawatan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resiko bocor 2. Resiko meletus 3. Resiko kebakaran 4. Isinya sedikit 5. Tekanan rendah
 <p>Mengemas dalam kantong plastik (KP4, 2010)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Struktur sederhana 2. Mudah dilakukan 3. Murah pembuatan dan perawatan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resiko bocor 2. Resiko meletus 3. Resiko kebakaran 4. Isinya sedikit 5. Tekanan rendah
 <p>Mengemas ke tabung dengan mesin kompresor (KP4, 2010)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil kerja optimal. 2. Isi pengemasan optimal. 3. Aman 4. Mudah operasinya 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengadaan mahal 2. Perawatan mahal 3. Perlu tenaga ahli
 <p>Jaringan pipa ke rumah-rumah (Sardjono, 2017; Mustaqim et al, 2016).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mudah instalasi 2. Gas mengalir langsung dari reaktor 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perawatan pipa sulit 2. Konsumen yang jauh tekanan gas rendah 3. Mahal.

Mengacu pada kenyataan itu, maka penelitian kali ini dimaksudkan untuk merancang alat bantu kerja pengemasan gas bio yang aman, murah, mudah dan sekaligus nyaman terutama bagi kalangan masyarakat bawah. Perancangan diarahkan pada bentuk pengembangan dari metoda-metoda yang telah ada, yaitu dengan memanfaatkan tabung elpiji 3 kg (tabung melon) sebagai media kemasnya. Pemilihan ini mengingat hampir semua masyarakat sudah mempunyai tabung melon. Yaitu tabung melon pemberian pemerintah saat realisasi program konversi minyak tanah ke gas elpiji tahun 2007 yang lalu (Muhdori, 2010).

MATERI DAN METODA

Yang dimaksudkan dengan alat bantu pengemasan gas bio ini, adalah sebuah alat yang berbentuk sedemikian rupa yang mana dengan alat ini seseorang dapat memasukkan atau mengemas gas bio dari *reactor/digester* ke tempat penampungan/pengemas. Alat ini dirancang secara ergonomis sehingga masyarakat dapat mengoperasikan/menggunakannya dengan mudah, aman, nyaman dan sekaligus murah. Bukan saja murah saat membuatnya namun juga murah merawatnya.

Mengingat keberadaan digester pada umumnya di daerah pinggiran bahkan di pedesaan, maka masyarakat pengguna yang dimaksudkan dalam penelitiannya ini adalah masyarakat pinggiran/pedesaan yang konon pada umumnya masyarakat bawah baik bawah secara ekonomi maupun pendidikannya. Dengan demikian masyarakat itu pula yang dipakai sebagai populasi dalam penelitian ini.

Media pengemas/penampung gas bio yang dimaksud adalah memanfaatkan tabung elpiji 3 kg buatan pertamina atau yang populer disebut dengan tabung melon. Selama ini tabung melon tersebut telah dimiliki secara gratis oleh masyarakat luas, yaitu saat pemerintah meluncurkan program konversi minyak tanah ke gas elpiji yang berlangsung di tahun 2007 yang lalu. Dengan begitu dalam penelitian ini tidak lagi mendesain ulang tabung itu.

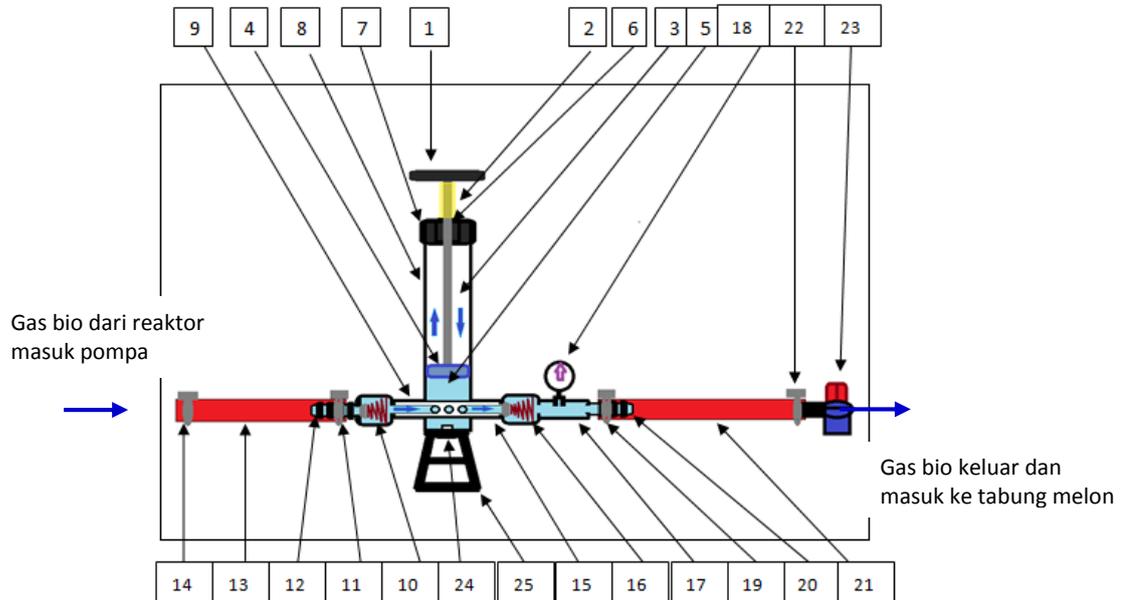
Perancangan alat kerja dilakukan dengan berorientasi pada ergonomi. Untuk menguji keberhasilan perancangan alat kerja, maka alat kerja diuji keergonomisannya dengan menggunakan angket Nordic Body Map (Tarwaka, 2009). Disamping itu alat juga diuji keergonomisannya melalui pendekatan tingkat kelelahan pengguna alat (Astrand dan Rodahl, 1977). Dari hasil pengolahan angket ini, selanjutnya dilakukan modifikasi/evaluasi hasil perancangan guna mendapatkan hasil perancangan akhir yang optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan.

Perancangan alat bantu pengemasan gas bio ini terinspirasi oleh pompa sepeda motor manual. Pompa sepeda motor akan memasukkan udara bebas/luar ke dalam ban. Dengan analogi bahwa udara bebas identik dengan gas bio dan ban sepeda motor identic dengan tabung melon, maka dengan alat serupa juga bisa memasukkan gas bio ke dalam tabung melon. Hanya saja yang menjadi persoalan adalah : pertama, bagaimana caranya

yang masuk ke tabung melon hanya gas bio yang berasal dari reactor/digester dan tidak tercampur dengan udara luar. Kedua, bagaimana pompa tersebut mudah, aman dan nyaman digunakan.



Gambar 1: Rancangan konseptual pompa pengemas gas bio.

Tabel 2: Komponen Pompa Gas Bio

No	Nama Komponen	No	Nama Komponen
1	Pegangan Tuas	14	Klem selang ke reaktor gas bio
2	Pegas peredam hentakan	15	Pipa keluaran
3	Tuas pompa	16	Katub balik pipa keluaran
4	Katub utama kedab udara luar	17	Pipa dudukan meter tekanan
5	Skrup pengunci katub utama	18	Meter tekanan
6	Pipa bushing	19	Klem pipa keluaran
7	Tutup tabung pompa	20	Dudukan selang keluaran
8	Tabung pompa	21	Selang keluaran ke tabung melon
9	Pipa pemasukan	22	Klem selang keluaran
10	Katub balik pipa pemasukan	23	Regulator tabung
11	Klem pipa pemasukan	24	Konci pengait pijakan pompa
12	Dudukan selang pemasukan	25	Pijakan pompa
13	Selang ke reaktor gas bio		

Gambaran perancangan konseptualnya ditunjukkan pada Gambar 1. Guna menjawab persoalan pertama, maka terhadap pompa sepeda motor dilakukan beberapa modifikasi sebagai berikut :

Pertama, katub utama pompa sepeda yang selama ini bisa bergerak membuka sehingga udara luar bisa bebas masuk ke tabung pompa dan bisa menutup sehingga udara luar yang

sudah masuk ke tabung pompa tidak bisa keluar lagi dan akhirnya udara tersebut dapat ditekan untuk bisa masuk ke ban, maka pada pompa gas bio katub itu selalu dalam kondisi tertutup dengan begitu udara luar tidak bisa masuk ke dalam tabung pompa. Dengan begitu katub ini hanya berfungsi untuk menekan gas ke tabung saja. Agar supaya gas bio bisa masuk ke tabung pompa, maka dilakukan modifikasi yang kedua.

Ke dua, Guna menyalurkan gas bio masuk ke tabung pompa, maka bagian dasar pompa dipasang pipa yang akan terhubung ke reactor/digester gas bio. Untuk bisa masuk ke tabung pompa gas bio tidak perlu dihisap, karena gas bio sudah mempunyai tekanan dengan begitu gas bio sudah bisa masuk sendiri. Namun agar gas bio tidak mengalir balik ke reactor saat pompa ditekan, maka pada saluran ini dipasang katub aliran balik. Katub akan segera menutup ketika ada aliran balik gas bio.

Ke tiga, Untuk menyalurkan gas bio ke tabung melon, pipa keluaran pompa disambungkan ke tabung melon dengan menggunakan regulator yang telah dimodifikasi. Pada umumnya regulator didesain hanya untuk mengeluarkan gas dari tabung melon bukan sebaliknya. Agar bisa dipakai untuk menyalurkan masuk ke tabung melon, maka katub pengaman regulator diubah sehingga bisa memasukkan gas. Agar tidak terjadi arus balik gas bio selama proses pengisian ke tabung melon, maka saluran keluaran pompa juga dilengkapi dengan katub aliran balik.

Ke empat, guna mengetahui tekanan gas bio dalam tabung melon, pompa ini juga dilengkapi dengan alat ukur tekanan (*pressure gauge*). Untuk regulator yang sudah ada indicator tekanan, maka alat ukur tekanan ini dapat dileps.

Cara kerja pompa gas bio.

Pada dasarnya cara kerja pompa gas bio ini sama dengan pompa manual speda motor. Ketika tuas pompa ditarik ke atas gas bio yang berada di reaktor terisap dan masuk ke tabung pompa. Lebih tepatnya karena gas bio yang berada dalam reaktor sudah bertekanan, gas bio sudah bisa masuk ke tabung pompa dengan sendirinya. Bahkan tekanan gas bio ini sudah cukup kuat untuk mendorong tuas pompa ke atas. Dan ketika tuas pompa ditekan ke bawah, pada saat yang sama katub aliran balik pada pipa pemasukan menutup, sehingga gas bio tidak mengalir kembali ke reaktor tetapi mengalir keluar melalui pipa pengeluaran menuju tabung melon. Ketika tuas pompa ditarik ke atas umaka gas bio terdorong sehingga mengalir masuk ke tabung melon. Gas bio yang sudah masuk ke tabung pontuk kedua kalinya pada saat yang sama katub balik pada pipa keluaran menutup sehingga gas bio yang sudah masuk ke tabung melon tidak bisa mengalir keluar dan saat yang sama pula katub pipa pemasukan membuka sehingga gas bio masuk ke tabung pompa. Demikian seterusnya tuas itu ditarik ke atas dan ditekan ke bawah untuk bisa memasukkan gas bio ke tabung melon.

Namun ada satu kesalahan fatal yang sering dilakukan kebanyakan orang, yaitu saat menekan tuas pompa ke bawah, gaya tekan yang diberikan sepenuhnya gaya tekan kekuatan tangan. Ketika saat-saat awal pemompaan hal ini tidak menjadi persoalan yang serius. Akan tetapi seiring tekanan gas dalam tabung semakin tinggi sehingga semakin diperlukan gaya tekan yang tinggi pula, maka kekutan tekan tangan semakin tidak mungkin. Untuk itu cara menekan tuas ini harus diubah, yaitu dengan memanfaatkan berat badan bukan lagi mengandalkan kekuatan tangan. Cara itu dapat dilakukan sebagai berikut: pertama, seperti cara sebelumnya tekan tuas kebawah dengan kekuatan tangan. Kedua, setelah tekanan mulai terasa berat di tangan posisikan tangan secara lurus segaris

dengan panjang tuas pompa. Ketiga, sambil meluruskan tangan sehingga segaris dengan tuas pompa diikuti dengan sedikit loncatan badan dan saat itu rapatkan genggam tangan ke bawah perut, sehingga pada saat itu pusat berat badan kita lurus segaris dengan tuas pompa. Keempat, seiring dengan gerakan badan ke bawah setelah adanya loncatan kecil sebelumnya, maka berat badang akan tersalurkan ke tuas pompa melalui sebagian tangan yang lurus dan sebagian tekanan bawah perut ke gagang tuas pompa. Dengan cara ini seseorang mampu mengisi tabung hingga penuh. Untuk itu panjang tuas pompa maksimal sama dengan tinggi genggam tangan dalam posisi menggantung.

Tabel 3: Komponen Gas Bio (Dewi, 2012; Hambali, 2007)

Komponen Gas Bio	Konsentrasi (% volume)
Metan (CH ₄)	50 – 70
Karbon dioksida (CO ₂)	25 – 45
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	2 – 7
Hidrogen (H ₂)	< 2
Amonia (NH ₃)	< 1

Material dan dimensi pompa gas bio

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hydrogen sulfida (H₂S) dan ammonia (NH₃) serta hydrogen dan (H₂), nitrogen yang kandungannya sangat kecil (Tabel 3). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor. Kualitas biogas dapat ditingkatkan dengan menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbon dioksida (CO₂).

Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang diijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida /sulphur trioksida (SO₂/SO₃). Senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk Sulphur acid (H₂SO₃) suatu senyawa yang lebih korosif (GTZ, 1997). Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbon dioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif. Karena adanya gas yang bersifat korosif, maka pompa gas bio ini dibuat dari material yang tahan korosi seperti stainless steel, karet, plastic dan kuningan.

Mengacu kepada cara kerja pompa di atas maka ada beberapa anggota tubuh yang terkait erat dengan bagaimana mengoperasikan pompa gas tersebut. Adapun anggota tubuh yang dimaksud adalah: panjang telapak tangan, lebar telapak tangan, tinggi genggam tangan menggantung, panjang kaki dan berat badan. Adapun dimensi (dalam cm) dan bahan pompa gas bio ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4: Dimensi dan Bahan Pompa Gas Bio.

No	Nama Komponen	Bahan	Dimensi
1	Pegangan Tuas	Pipa baja tahan karat	22 cm x Ø 2,96 cm
2	Pegas peredam hentakan	Baja	10 cm x Ø 1,8 cm
3	Tuas pompa	Batangan baja tahan karat	40 cm x Ø 1,6 cm
4	Katub utama kedab udara luar	Kuningan, baja tahan karat	Ø 4 cm
5	Skrup pengunci katub utama	Baja tahan karat	3 cm x Ø 1,6 cm
6	Pipa bushing	Baja tahan karat	0,3 cm x Ø 1,6 cm
7	Tutup tabung pompa	Baja tahan karat	2,5 cm x Ø 4,5 cm x 0,5 cm
8	Tabung pompa	Baja tahan karat	43 cm x Ø 4 cm
9	Pipa pemasukan	Baja tahan karat	10 cm x Ø 1,27 cm
10	Katub balik pipa pemasukan	Baja tahan karat, kuningan	1,27 cm
11	Klem pipa pemasukan	baja	Ø 2 cm x 3,5 cm
12	Dudukan selang pemasukan	baja tahan karat	5 cm
13	Selang ke reactor gas bio	karet berkawat	Ø 1,27 cm 16 bar
14	Klem selang ke reactor gas bio	baja	3,5 cm x Ø 4 cm
15	Pipa keluaran	Baja tahan karat	4 meter x 1,27 cm
16	Katub balik pipa keluaran	Baja tahan karat, kuningan	1 pc
17	Pipa dudukan meter tekanan	Baja tahan karat	Ø 4 cm x 0,3 cm
18	Meter tekanan	Kuningan, baja	Ø 0,4 cm x 30 cm
19	Klem pipa keluaran	Baja tahan karat	3,5 cm x Ø 4 cm
20	Dudukan selang keluaran	Baja tahan karat	5 cm
21	Selang keluaran ke tabung melon	baja	Ø 1,27 cm 16 bar
22	Klem selang keluaran	baja	3,5 cm x Ø 4 cm
23	Regulator tabung	Alumunium, kuningan	-
24	Konci pengait pijakan pompa	baja	-
25	Pijakan pompa	Baja tahan karat	5 cm x 17 cm

Uji coba pompa

Telah dilakukan uji coba pompa pengemas gas bio langsung di Sukodono Sidoarjo lokasi dimana digester berada. Uji coba yang dimaksud yaitu dipakai untuk mengisi tabung melon sebanyak 35 buah hingga penuh (keadaan penuh dilihat dapat dilihat pada meter regulator gas) . Dan hasilnya sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5: Hasil uji coba pompa.

Besaran	Rata-rata
Frekuensi pemompaan hingga tabung penuh	115 kali pompa
Tekanan gas dalam tabung	7.67 bar
Lama nyala api	15 menit
Warna nyala api	biru

Lama nyala api ternyata tidak optimal sangat singkat, yaitu hanya 15 menit. Hal ini disebabkan karena: pertama, gas bio yang sudah terkemas dalam tabung masih berupa

gas tidak dalam bentuk cair (likuid). Dengan begitu tabung tidak bisa menampung gas bio dalam jumlah besar. Untuk kali ini dalam penelitian ini belum diupayakan pencairannya mengingat memerlukan teknologi yang tinggi dan mahal. Yang kedua bahwa gas bio terdiri atas campuran beberapa gas (lihat Tabel 3) sementara gas metannya sendiri hanya sebesar 50 – 70% saja. Dengan begitu jumlah gas metan yang terkemas dalam tabungpun dalam jumlah yang sedikit. Guna meningkatkan jumlah kandungan gas metan, sebaiknya gas bio disaring dahulu hingga murni.



Gambar 2: Pengujian Pompa Gas Bio

Uji kelelahan.

Apakah selama pengisian tabung hingga penuh dengan menggunakan pompa ini menimbulkan kelelahan atau tidak. Untuk itu perlu diuji tingkat kelelahannya. Kelelahan seseorang yang melakukan suatu aktivitas dapat dideteksi melalui perubahan denyut nadinya (Grandjean, 2000). Yaitu dinyatakan dengan hubungan:

$$\text{tingkat kelelahan} = \frac{(\text{denyut nadi kerja} - \text{denyut nadi istirahat})}{(\text{denyut nadi maksimal} - \text{denyut nadi istirahat})} \times 100\%$$

Dengan:

Denyut nadi istirahat adalah rerata denyut nadi sebelum melakukan aktivitas. Denyut nadi kerja adalah rerata denyut nadi setelah bekerja. Dan menurut Astrand dan Rodahl (1977),

denyut nadi maksimal didapatkan dengan rumus $220 - \text{umur}$. Selanjutnya prosentase tingkat kelelahan diklasifikasikan, yaitu:

Tingkat kelelahan $\leq 30\%$ bermakna tidak terjadi kelelahan, aktivitas boleh dilanjutkan
 $30 < \text{tingkat kelelahan} \leq 60\%$ bermakna sedikit lelah sehingga perlu sedikit istirahat.
 $60 < \text{tingkat kelelahan} \leq 80\%$ bermakna merasakan kelelahan harus ada pengurangan beban
 $80 < \text{tingkat kelelahan} \leq 100\%$ bermakna sangat lelah, perlu tindakan segera
 $100 < \text{tingkat kelelahan}$ bermakna sangat sangat lelah, dan tidak boleh beraktivitas lagi.

Terdapat 33 responden yang siap membantu terrealisasinya penelitian ini. Adapun profil ke 33 responden tersebut adalah sebagaimana tertuang dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6: Profil Responden

Jumlah responden	33 orang
Responden pria	28 orang
Reponden wanita	5 orang
Responden dengan usia 31 – 40 tahun	10 orang
Responden dengan usia 41 – 50 tahun	9 orang
Responden dengan usia 51 – 60 tahun	8 orang
Responden dengan usia 61 – 70 tahun	5 orang
Responden dengan usia 71 – 80 tahun	1 orang
Kondisi kesehatan	sehat semua
Responden sebagai Peg. Negri/Swasta	20 orang
Responden ibu rumah tangga	5 orang
Responden pengangguran	4 orang

Dari Tabel 7 didapatkan rata-rata tingkat kelelahan dari 33 responden setelah mengisi tabung melon hingga penuh sebesar 15.1% dengan simpangan 9.7%. Hal ini menandakan bahwa secara umum seseorang yang mengisi tabung hingga penuh dengan menggunakan pompa gas bio ini sama sekali tidak merasakan kelelahan. Atau dengan kata lain untuk mengoperasikan pompa gas bio ini tidak diperlukan banyak energy karena sukup ringan. Memang untuk responden yang berusia lanjut (diatas 65 tahun) tingkat kelelahannya di atas 30% yang mempunyai makna mereka merasakan sedikit kelelahan. Dengan usianya yang sudah lanjut, keadaan ini masih dalam batas kewajaran.

Uji Keergonomisan

Pengujian keergonomisan suatu alat dapat didekati dengan memeriksa apakah ada gangguan musculoskeletal disorder pada diri operator ketika operator telah melakukan aktivitas dengan alat tersebut (Tawarka, 2009). Untuk itu digunakan angket peta tubuh Nordic (Nordic Body Map) untuk menelusuri gangguan itu. Penelusuran gangguan dilakukan saat sebelum melakukan aktivitas (*pre test*) dan sesudah melakukan aktivitas (*post test*). Dari 33 responden hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 8

Tabel 7: Tingkat Kelelahan Responden

Responden ke	Umur (tahun)	Denyut nadi istirahat (kali/menit)	Denyut nadi kerja (kali/menit)	Denyut nadi maksimal (kali/menit)	Tingkat kelelahan
1	55	65	75	165	11.11
2	60	68	74	160	6.98
3	56	70	76	164	6.82
4	35	65	70	185	4.35
5	63	68	84	157	21.92
6	48	60	78	172	19.15
7	52	62	74	168	12.77
8	65	65	88	155	34.33
9	32	60	69	188	7.56
10	37	66	69	183	2.63
11	44	67	75	176	7.92
12	53	62	77	167	16.67
13	69	65	87	151	34.38
14	72	67	89	148	37.29
15	36	62	68	184	5.17
16	39	65	68	181	2.65
17	55	68	79	165	12.79
18	43	70	82	177	12.63
19	47	68	77	173	9.38
20	40	65	76	180	10.58
21	68	70	90	152	32.26
22	58	66	78	162	14.29
23	35	60	77	185	15.74
24	45	67	83	175	17.39
25	46	65	79	174	14.74
26	38	64	74	182	9.26
27	65	68	91	155	35.94
28	41	66	79	179	13.00
29	33	64	73	187	7.89
30	42	69	80	178	11.22
31	52	65	81	168	18.39
32	39	65	77	181	11.54
33	43	67	85	177	19.57

Isian angket didominasi jawaban tidak sakit. Hanya beberapa responden yang merasakan sedikit sakit, setelah ditelusuri lebih lanjut, mereka yang merasakan sedikit sakit tersebut adalah beberapa responden yang telah lanjut usia (usia 65 tahun ke atas). Dengan menggunakan perangkat lunak SPSS, ternyata dinyatakan tidak ada perbedaan yang nyata antara hasil angket sebelum dan sesudah beraktivitas. Hal ini memberikan makna bahwa ketika digunakan untuk mengisi tabung melon hingga penuh, pompa gas bio dapat digunakan dengan aman dan nyaman serta tidak memberatkan bagi penggunanya.

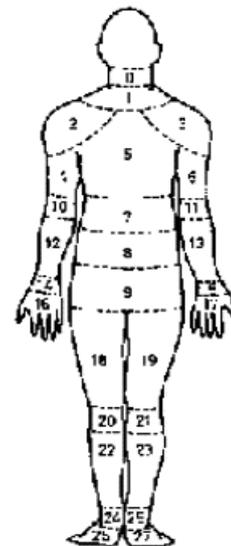
Tabel 8: Hasil Angket Peta Tubuh Nordic

No	Bagian tubuh yang sakit	Angket sebelum				Angket sesudah			
		TS	AS	S	SS	TS	AS	S	SS
0	Sakit/kaku di leher bagian atas	33				33			
1	Sakit/kaku di leher bagian bawah	33				33			
2	Sakit di bahu kiri	33				30	3		
3	Sakit di bahu kanan	33				31	2		
4	Sakit pada lengan atas kiri	33				33			
5	Sakit di punggung	33				33			
6	Sakit pada lengan atas kanan	33				30	3		
7	Sakit pada pinggang	33				31	2		
8	Sakit pada bokong	33				33			
9	Sakit pada pantat	33				33			
10	Sakit pada siku kiri	33				33			
11	Sakit pada siku kanan	33				33			
12	Sakit pada lengan bawah kiri	33				29	4		
13	Sakit pada lengan bawah kanan	33				29	4		
14	Sakit pada pergelangan tangan kiri	33				30	3		
15	Sakit pada pergelangan tangan kanan	33				31	2		
16	Sakit pada jari-jari tangan kiri	33				33			
17	Sakit pada jari-jari tangan kanan	33				33			
18	Sakit pada paha kiri	33				33			
19	Sakit pada paha kanan	33				33			
20	Sakit pada lutut kiri	33				33			
21	Sakit pada lutut kanan	33				33			
22	Sakit pada betis kiri	33				33			
23	Sakit pada betis kanan	33				33			
24	Sakit pada pergelangan kaki kiri	33				33			
25	Sakit pada pergelangan kaki kanan	33				33			
26	Sakit pada jari kaki kiri	33				33			
27	Sakit pada jari kaki kanan	33				33			

Keterangan: TS : Tidak sakit AS : Agak/sedikit sakit S : Sakit SS : Sakit sekali

Namun demikian ada beberapa responden memberikan masukan terkait dengan pompa gas bio ini yaitu: Pertama, ada lima orang responden menginginkan pegangan tuas pompa diberi karet atau spon agar supaya terasa lunak ketika dipegang. Ke dua, ada 10 responden yang berusia muda kurang dari 40 tahun menghendaki tabung pompa diperbesar. Mereka berharap dengan tabung yang besar, maka mereka bisa mengisi tabung melon lebih cepat tidak sampai 115 kali pompa. Dengan diameter tabung pompa dua kali lebih besar, maka pengisian tabung melon hingga penuh tidak perlu sampai sekitar 115 kali pemompaan tetapi cukup sampai sekitar 60 kali pemompaan saja.

Masukkan pertama sangat logis dan dapat diterima, sehingga pegangan tuas telah dimodifikasi sehingga diameternya yang semula 2.96 cm sekarang diubah menjadi 2.5 cm dengan lapisan spon/busa yang lunak setebal 2 cm yang lunak ketika



Gambar 3 : Peta Tubuh Nordic (Tarwaka, 2009)

digunakan memompa tebal spon menipis akibat cengkeraman tangan menjadi setebal sekitar 0.5 cm. Sedang masukkan ke dua tentang tabung pompa yang besar, rupanya perlu kajian tersendiri, karena tabung pompa semakin besar akan berpengaruh pada semakin besar tenaga yang diperlukan untuk memompakan gas bio ke tabung melon. Karena itu hingga kini belum dilakukan perubahan besar tabung.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan serangkaian uji coba, akhirnya disimpulkan bahwa secara ergonomis perancangan pompa gas bio ini sudah memberikan hasil perancangan yang optimal, dalam arti bahwa pompa sudah dapat dipakai untuk mengemas gas bio ke dalam tabung melon dengan mudah dan nyaman, sehingga tidak menimbulkan rasa sakit (tingkat kelelannya hanya 15.1%) setelah menggunakannya. Memang pemanfaatan gas bio yang telah terkemas dalam tabung belum optimal, yaitu nyalanya hanya selama 15 menit. Untuk itu disarankan pertama, sebelum dikemas ke dalam tabung, gas bio disaring terlebih dahulu sehingga kandungan gas metannya mendekati tingkat kandungan gas metan yang murni. Dan yang kedua, disarankan sebisa mungkin gas metan yang dikemas diwujudkan dalam bentuk cair/likuid sehingga dalam volume tabung yang sama mampu mengemas gas metan yang jauh lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrand, P. O. and Rodahl, K. 1977. *Textbook of Work Physiology -Physiological Bases of Exercise, Neuromuscular Function*. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Dewi, N C. 2012. *UGM Segera Patenkan Pemurnian Biogas*, http://kbr.id/11-2012/ugm_segera_patenkan_pemurnian_biogas/51843.html. Diakses tanggal 21 Nopember 2016
- Grandjean, E. 2000. *Fitting the Task to The man . A Textbook Of Occupational Ergonomics*. 4th edition. New York: Taylor & Francis.
- Hambali, E. dkk. 2007. *Teknologi Bioenergi. Biodiesel, Bioetanol, Biogas, Pure Plant Oil, Biobriket, dan Bio-oil*. PT Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Presiden, 2006. Instruksi Preiden No 1 tahun 2006 tertanggal 25 januari 2006 tentang *penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (biofuels), sebagai energi alternative*, Jakarta.
- KP4, 2010. *Biogas Dalam Kemasan Plastik*, https://www.google.co.id/search?q=KP4+UGM+BIOGAS+PLASTIK&sa=X&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ved=hUKEwiR1OG9-8_TAhVBP48KHe4cDRYQsAQIjw&biw=1366&bih=657#imgrc=nD0VpN3e4by0-M, diakses tanggal 24 Desember 2016.

- KP4, 2010. *Pengemasan Biogas ke Dalam Tabung*. <https://kp4.ugm.ac.id/2010/03/pengemasan-biogas-ke-dalam-tabung/>. Diakses 14 Januari 2017
- Manik, 2010. *Biogas Dalam Kantong Ban Dalam Mobil*. <http://kelompokternakpucakmanik.blogspot.co.id/2010/11/biogas-dalam-kantong-ban-dalam-mobil.html>. diakses tanggal 26 Desember 2016.
- Muhdori, 2010. *Penanganan Permasalahann Program Konversi Minyak Tanah ke LPG*, Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Mustaqim, dkk. 2010. *Instalasi Sistem Penyaluran Gasbio Menggunakan Pipa PVC*. Fakultas Teknik UPS, https://www.google.co.id/?gws_rd=cr,ssl&ei=JtQHWdaKOYv-vgTK05Vo#q=JARINGN+PIPA+BIOGAS. Diakses 12 Desember 2016
- Sardjono, D. 2017. *Menuju Mandiri Energi, Desa Mundu Arisan Biogas*. <http://mediaindonesia.com/news/read/94971/menuju-mandiri-energi-desa-mundu-arisan-biogas/2017-03-05>.
- Tarwaka, 2009. *Pengujian Gangguan Musculoskeletal dengan Kuisener Nordic Body Map*. <http://safelindo.blogspot.co.id/2009/02/kuesioner-nordic-body-map.html>. diakses 27 September 2016.
- GTZ. 1997. *Biogas Utilization*. <http://vww5.gtz.de/gate/techinfo/biogas/appldev/operatori/utilizat.html>. diakses tanggal 26 Desember 2016.
- Teguh W. W.; Agung H. 2005. *Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia. Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*. Beijing, October 17-20,2005. pp. 255-261.
- Marchaim, U. 1992. *Biogas Processes for Sustainable Development. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy*.
- Sudradjat. R. 2004. *The Potential of Biomass Energy resources in Indonesia for the Possible Development of Clean Technology Process (CTP). International Workshop on Biomass & Clean Fossil Fuel Power Plant Technology: Sustainable Energy Development & CDM*. Jakarta, January 13-14, 2004.