

OPTIMASI SUDUT UJUNG PIPA PENANGKAPAN GAS METANA PADA METODE ARROW SYSTEM

ZAMZAMI SEPTIROPA,¹ A. FAUZAN H.S.,² MOCH ZAINUDDIN³

^{1,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: zamzami@umm.ac.id

ABSTRAK

Sistem pengeboran pada tumpukan sampah untuk mendapatkan gas metan sangat sulit karena sebagian besar sampah adalah terbuat dari plastik sehingga dapat terjebak dalam bor. Penggalian manual tidak diizinkan karena sangat berbahaya, sementara menggali dengan alat berat belum mampu untuk dilakukan karena membutuhkan alat khusus yang mampu mendorong dan menarik permukaan limbah. Membuat lubang dengan metode arrow system yakni mata panah yang lebih besar dari gagang panah, adalah salah satu alternatif yang dapat dicoba untuk mendapatkan lubang/sumur ekstraksi gas di TPA Supit Urang - Malang. Hasilnya, lubang yang lebih besar dari poros panah kemudian diisi dengan kerikil seperti metana ekstraksi baik di TPA. Tumpukan gaya yang dibutuhkan (arrow system) untuk tiang dengan diameter tiang 26,7 cm dan kedalaman maksimum 5,20 m (pada titik 1, titik panah dari 30° dan 45°) adalah deretan 63.087 kg dan 79.717 kg. Sudut optimum dalam hal kebutuhan kekuatan penetrasi tiang dengan sudut mata panah 30°.

Kata Kunci: Gas metan, Pile Foundation, Arrow System

ABSTRACT

Drilling system on a pile of waste to get the methane gas is very difficult because the majority of waste is made from plastic so it can get caught in the drill. Manual excavation is not allowed because it is very dangerous, while digging with heavy equipment has not been able to do because it requires a special tool that is able to push and pull waste surface. Making holes with arrow system method that is larger arrowhead from the arrow shaft, is one alternative that can be tried to get a hole/gas extraction wells at the Landfill Supit Urang - Malang. Results hole larger than the arrow shaft is then filled with gravels as well extration methane in the landfill. The force required pile (arrow system) to the pole with pole diameter 26.7 cm and a maximum depth of 5.20 m (at point 1, the arrows point of 30° and 45°) is a row of 63,087 kg and 79,717 kg. Optimum angle in terms of penetration force needs is the pole with arrowhead angle 30°.

Keywords: Methane gas, Pile Foundation, Arrow System

PENDAHULUAN

Metana merupakan gas rumah kaca (GRK) yang menyumbang pemanasan global 21 kali lebih besar dari CO₂ yang harus dikurangi emisinya dengan cara ditangkap/diekstraksi untuk dijadikan CO₂ dengan cara flaring maupun dijadikan bahan bakar pembangkit listrik (Jacobs and Maskan, 2006). Hal yang perlu dilakukan untuk mendapatkan gas metana dalam *landfill* adalah membuat lubang atau sumuran pada tumpukan sampah yang telah terlapis oleh tanah atau bahan plastik. Dalam kegiatan ini sistem pengeboran sangat sulit dilakukan karena sampah yang ada mayoritas berbahan plastik sehingga dapat tersangkut pada mata bor.

Penggalian juga kurang baik diterapkan. Karena keterbatasan alat maka lubang yang dihasilkan tidak dapat berbentuk vertikal. Penggunaan eskavator sebagai penggali juga kurang efektif. Lubang yang

dihasilkan cenderung memanjang dan kedalamannya tidak maksimum sampai dasar tumpukan sampah (Fauzan, 2008). Pembuatan lubang dengan metode *arrow system* yaitu mata panah yang lebih besar dari batang panah merupakan salah satu alternatif yang patut dicoba (Baules, 1993).

Hasil lubang yang lebih besar dari batang panah ini sesuai akan kebutuhan lubang dengan dimensi lebih besar dari pipa yang akan dimasukkan untuk kemudian diisi dengan kerikil. Disamping digunakan untuk penangkapan gas metana, kerikil dapat membantu proses penekanan atau penetrasi sistem *counter weight* atau perlawanan beban. Adaptasi anak panah ini diambil dari teknologi tiang pancang dimana perlawanan ujung dan hambatan lekat menjadi fokus perhitungan. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui gaya yang dibutuhkan penetrasi tiang dengan metode

anak panah pada timbunan sampah di TPA Supit Urang dan sudut yang baik digunakan sebagai mata tiang.

METODE

Lokasi Tempat dan Waktu Perencanaan

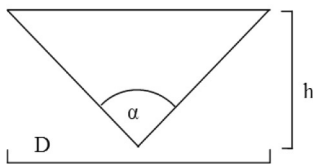
Perencanaan dilakukan pada lokasi penelitian Universitas Muhammadiyah Malang, tempat pembuangan akhir sampah kota Malang, di Supit Urang. Sel yang dijadikan obyek adalah sel 4 (empat)

Data Perencanaan

Data yang diperlukan dalam perencanaan ini antara lain data sondir, dimensi *arrow system*, kedalaman dan luas sel. Data diperoleh berdasarkan data lapangan dan perencanaan.

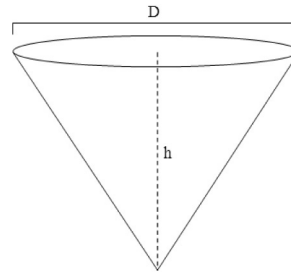
Spesifikasi tiang dan mata tiang yang direncanakankan adalah sebagai berikut: Diameter pipa: 26,7 cm; Tebal pipa: 9,5 mm; Luas pipa: 76,97 cm²; Tegangan ijin baja: 1600 kg/cm²; Berat baja: 1,10 kg/cm; Modulus elastisitas baja: 2×10^5 kg/cm²; Diameter kepala: 60 cm (dengan alternatif sudut yang mata panah 30°, 45°, 60°).

- Tinggi *arrow system*



h1 = 111,96 cm
h2 = 72,43 cm
h3 = 51,96 cm

- Luas permukaan mata panah



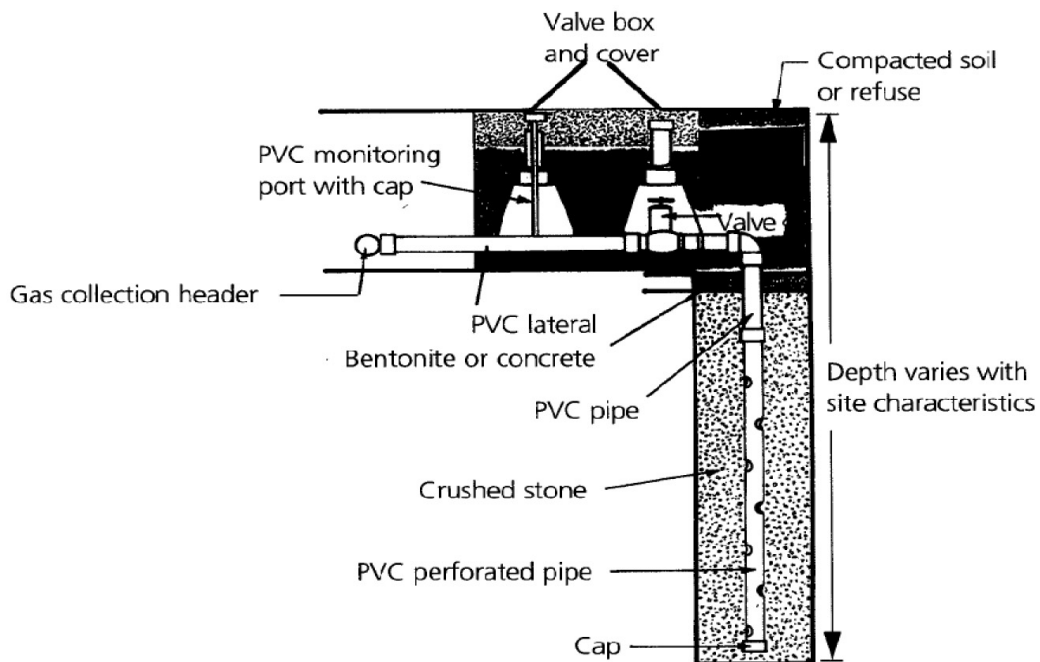
Ap1 = 7031 cm²
Ap2 = 4548 cm²
Ap3 = 3263 cm²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Sumur Gas

Pada instalasi penangkapan gas *landfill* yang mulai dikembangkan adalah dengan sistem pengeboran langsung di tempat pembuangan akhir, pengeboran ini didasarkan pada kedalaman dari tumpukan sampah. Hal ini dilakukan karena umumnya di TPA di Indonesia tidak didesain untuk sanitary landfill sehingga perlu pengeboran, disisi lain kebanyakan juga disusun dengan model open dumping, salah satu bentuk pengeboran sumur gas seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

TPA atau *landfill* yang dipersiapkan dengan baik terdapat sekat pada dasarnya/membrane dasar (base liner) yang terbuat dari geotekstil sehingga akan menahan air dan gas dari keluar atau masuk, pada tiap 50 cm tebal sampah, dilapisi gragal (batuan kasar) setebal 20 cm. Lapisan batuan ini menjadi jalan gas untuk ke pipa ekstraksi. Jika TPA penuh dan tidak lagi menerima sampah, maka ditutup



Gambar 1. Lubang Gas Vertikal.

dengan tanah, dilapisi geotekstil, ditutup tanah lagi yang kemudian ditanami pada bagian atasnya. Sistem ini mengurangi kebocoran gas.

Mengingat sel sel di *landfill* Malang tidak dipersiapkan dengan baik, sehingga tidak memiliki membrane dasar, tidak ada cukup rongga rongga untuk kelancaran aliran, hal ini menyebabkan gas metan tak dapat diekstraksi dengan baik dan banyak kebocoran.

Konsep Produk Pipa Ekstraksi Vertikal

Dengan menerapkan teknologi tiang pancang untuk metode system anak panah (*arrow system*), pipa panangkap gas metan (CH₄) dapat dimasukkan ke dalam tumpukan sampah dengan memberikan tekanan sesuai perlawanan yang diberikan melalui hambatan lekat oleh tumpukan sampah. Fungsi dari sistem anak panah adalah memberikan ruang untuk kerikil yang dibutuhkan sebagai daerah aliran gas metan.

Batang dan kepala terbuat dari besi, yang mampu menekan/menusuk tumpukan sampah dengan penekan menggunakan *hammer*. Di sekelilingnya ditimbuni batuan yang tersedia karena perbedaan dimensi mata dan batang. Jika ditekan ke bawah maka akan masuk ke timbunan sampah dan kerikil dapat masuk ke dalam lubang ekstraksi. Pipa kemudian disambung dan sekelilingnya ditimbun kerikil lagi kemudian ditekan kembali. Demikian dilakukan hingga mencapai dasar tanah. Perkiraan diameter pipa lebih kurang 260 mm dan perkiraan diameter kepala 600 mm. Ukuran ini hanya perkiraan awal yang akan direvisi berdasar perhitungan.

Pada penelitian ini dihitung spesifikasi pipa yang sesuai agar mampu menahan tekanan/pukulan untuk menusuk masuk ke dalam timbunan sampah.

Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Pondasi 1 tiang pancang pada umumnya didukung oleh tanah dengan kondisi:

a. Tiang pancang tertahan ujungnya

Rumus-rumus yang digunakan untuk menahan daya dukung pondasi untuk tiang pancang yang tertahan ujungnya (*end bearing pile*) adalah:

1. Berdasarkan kekuatan bahan tiang

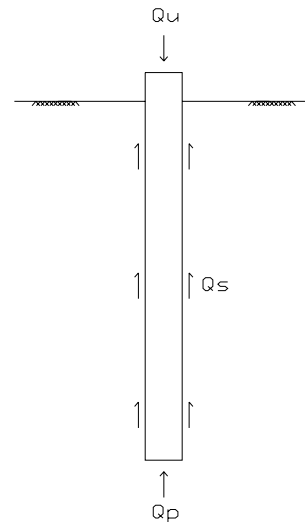
$$P \text{ tiang} = \sigma \text{ tiang} \times A \text{ tiang} \dots \text{Persamaan 1}$$

2. Berdasarkan kekuatan tanah

$$G_{\text{tiang}} = \frac{A \text{ tiang} \times Q_c}{3} \dots \dots \dots (1)$$

b. Tiang yang berdaasarkan gesekan selimut tiang dengan tanah (*friction pile*)

Rumus-rumus yang digunakan untuk menentukan daya dukung pondasi untuk tiang pancang yang berdasarkan gesekan antara selimut tiang



Gambar 2. Daya Dukung Pondasi (*End Bearing Pile*)

dengan tanah (*friction pile*) dari hasil data sondir adalah:

$$G_{\text{tiang}} = \frac{O.Lc}{5} \dots \dots \dots (2)$$

Kapasitas Penetrasi Arrow System

Perhitungan kapasitas penetrasi anak panah dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

- Kedalaman yang ditinjau = 13,40 m (didapat dari grafik hasil perhitungan Alat penetrasi tanah Sondir dengan cara mengambil nilai konus terbesar yang terdalam, grafik terlampir)
- Nilai konus = 160 kg/cm² (menurut kedalaman yang ditinjau)
- Hambatan lekat rata-rata kedalaman 14 m = 4,45 kg/cm (menurut kedalaman yang ditinjau)

Reaksi pada penetrasi akibat tahanan ujung mata panah dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{p1} = 2826.160.\sin 15^\circ = 117562 \text{ kg}$$

$$Q_{p2} = 2826.160.\sin 22,5^\circ = 171821 \text{ kg}$$

$$Q_{p3} = 2826.160.\sin 30^\circ = 226080 \text{ kg}$$

Untuk kapasitas penetrasi selimut hanya terjadi pada mata tiang, karena tiang tidak bergesekan dengan timbunan sampah yang disebabkan oleh perbedaan dimensi antara ujung dengan lengan tiang *arrow system*. Hambatan lekat yang terjadi pada mata anak panah dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{s1} = A_{p1} \cdot C_u = 7031 (4,45) = 31288 \text{ kg}$$

$$Q_{s2} = A_{p2} \cdot C_u = 4548 (4,45) = 20239 \text{ kg}$$

$$Qs3 = Ap3 \cdot Cu$$

$$= 3263 (4,45) = 14520 \text{ kg}$$

Setelah didapat kapasitas penetrasi akibat tahanan ujung dan hambatan lekat, maka dihitung kapasitas bahan *Arrow system* sebagai berikut.

$$P1 = Qp1 + Qp1$$

$$= 117562 + 31288 = 148850 \text{ kg}$$

$$P2 = Qp2 + Qp2$$

$$= 171821 + 20239 = 192059 \text{ kg}$$

$$P3 = Qp3 + Qp3$$

$$= 226080 + 14520 = 240600 \text{ kg}$$

Kontrol kelangsingan batang dan tegangan

$$\text{Syarat tegangan} : \sigma = \omega \cdot \frac{P}{A} \leq \bar{\sigma}_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Syarat kelangsingan: } \lambda = \frac{L_k}{i_{\min}} \leq 200$$

$$\lambda_x = \frac{L_k}{i_x} = \frac{1340}{9,12} = 147 < 200 \rightarrow \omega = 4,17$$

$$\sigma_1 = \omega \cdot \frac{P}{A} = 4,17 \cdot \frac{148850}{76,97} = 6847 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}$$

$$\sigma_2 = \omega \cdot \frac{P}{A} = 4,17 \cdot \frac{192059}{76,97} = 9294 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}$$

$$\sigma_3 = \omega \cdot \frac{P}{A} = 4,17 \cdot \frac{240600}{76,97} = 11889 \text{ kg/cm}^2 > \bar{\sigma}$$

Perhitungan serupa dilakukan dengan cara coba-coba pada kedalaman yang berbeda hingga mendapatkan $\sigma_{Arrow \ system} < \bar{\sigma}_{ijin}$. Hasil perhitungan ditabelkan.

Gaya Penetrasi Anak Panah

Gaya untuk penetrasi anak panah pada timbunan sampah di hitung dari hambatan ujung dan hambatan lekat. Perhitungan mengacu pada hasil penyelidikan sondir yang dilakukan pada 4 titik. Hasil perhitungan gaya yang dibutuhkan untuk memasukkan tiang pancang dengan 3 mata panah sudut 30°, 45°, dan 60° kedalam lapisan timbunan sampah di TPA Supit Urang pada keempat titik ditabelkan sebagai berikut.

Berdasarkan kekuatan tegangan pada setiap anak panah sebesar 1600 kg/cm², dapat dilihat pada tabel 1 bahwa mata panah dengan sudut 30° dan 45° mampu mencapai kedalaman 5,20 m dengan gaya berturut-turut sebesar 67287 kg dan 79717 kg yang menghasilkan tegangan berturut-turut sebesar 1070 kg/cm² dan 1353 kg/cm². Pada tabel 2 menunjukkan bahwa kedalaman maksimal yang dapat dicapai adalah 4,20 m oleh mata panah dengan sudut 30° dan 45°. Besarnya gaya berturut-turut 73476 kg dan 95416 kg. Nilai tegangan berturut-turut 1142 kg/cm² dan 1483 kg/cm². Pada tabel 3 kedalaman maksimal yang dapat dicapai adalah 4,60 m oleh mata panah sudut 30°, 45° dan 60°.

Tabel 1. Gaya Penetrasi Tiang Pada Titik 1

Kedalaman(cm)	1340		1280		1020		820	
Nilai konus(kg/cm ²)	160		150		100		80	
Cleef rata-rata(kg/cm ³)	4.45		4.42		4.3		3.6	
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)
30°	148850	6847	141291	3611	103709	1727	84092	1968
45°	192059	9294	181184	4690	126944	2247	102283	2393
60°	240600	11889	226372	5891	155331	2825	124787	2920
Kedalaman(cm)	760		520		300			
Nilai konus(kg/cm ²)	70		60		50			
Cleef rata-rata(kg/cm ³)	3.3		2.18		1.15			
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)		
30°	74636	1616	63087	1070	44824	634		
45°	90180	1953	79717	1353	58924	833		
60°	109678	2375	98958	1679	74402	1052		

Tabel 2. Gaya Penetrasi Tiang Pada Titik 2

Kedalaman(cm)	440		420		340	
Nilai konus(kg/cm ²)	150		80		60	
Cleef rata-rata(kg/cm ³)	2.3		2.09		1.54	
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)
30°	126385	1995	73476	1142	54913	798
45°	171542	2708	95416	1483	71437	1039
60°	219455	3464	119860	1862	89805	1306

Tabel 3. Gaya Penetrasi Tiang Pada Titik 3

Kedalaman(cm)	1440		520		500		460	
Nilai konus(kg/cm ²)	160		140		120		55	
Cleef rata-rata(kg/cm ²)	4.26		1.94		1.98		1.8	
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)
30°	147514	9234	116507	1977	102093	1703	53068	851
45°	191195	11968	159166	2701	137871	2300	67250	1078
60°	239980	15022	204150	3464	176021	2936	83588	1340

Tabel 4. Gaya Penetrasi Tiang Pada Titik 4

Kedalaman(cm)	1100		1060		980		820	
Nilai konus(kg/cm ²)	150		140		110		105	
Cleef rata-rata(kg/cm ²)	2.57		2.6		2.67		2.83	
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)
30°	128284	4710	121147	4088	99596	2897	97048	2271
45°	172770	6343	162168	5472	130270	3789	125628	2940
60°	220336	8090	206304	6961	164142	4775	157599	3688
Kedalaman(cm)	800		660		500		280	
Nilai konus(kg/cm ²)	100		90		70		55	
Cleef rata-rata(kg/cm ²)	2.76		2.47		2		1.5	
Tipe tiang	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)	Qu(kg)	À(kg/cm ²)
30°	92882	2125	83495	1618	65495	1093	50958	710
45°	119940	2744	107883	2091	84268	1406	65885	918
60°	150306	3439	135230	2621	105436	1759	82610	1152

Besarnya gaya berturut-turut 53068 kg, 67250 kg, 83588kg. Nilai tegangan berturut-turut 851 kg/cm², 1078 kg/cm², 1340 kg/cm². Pada tabel 4 kedalaman maksimal yang dapat dicapai adalah 5,00 m oleh mata panah sudut 30° dan 45°. Besarnya gaya berturut-turut 65495 kg dan 84268 kg. Nilai tegangan berturut-turut 1093kg/cm² dan 1406 kg/cm².

Dimensi Mata Panah Efektif

Dimensi mata panah paling efektif dapat ditentukan dengan mencari gaya terkecil diantara ketiga sudut mata panah (30°, 45°, 60°). Besarnya gaya terkecil yang menghasilkan tegangan dibawah 1600 kg/cm² oleh tiap mata panah pada titik sondir dapat disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan gaya titik penetrasi

No	Tipe anak panah (sudut)	Gaya Penetrasi (kg)				Rata-rata (kg)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	
1	30°	44824	54913	53068	50958	50941
2	45°	58924	71437	67250	65885	65874
3	60°	74402	89805	83588	82610	82601

Menurut tabel di atas dapat diketahui bahwa mata panah dengan gaya penetrasi minimum pada kedalaman yang sama dalam 1 titik dan perbandingan dengan titik yang lain adalah tiang dengan mata panah sudut 30° dengan rata-rata gaya yang dibutuhkan sebesar 50941 kg.

SIMPULAN

Kedalaman maksimal yang dapat dijangkau yaitu sedalam 520 cm (pada titik 1, anak panah sudut 30° dan 45°) dengan gaya yang dibutuhkan berturut-turut sebesar 63087 kg dan 79717 kg. Desain dengan sudut 30° dianggap sudut paling baik dalam hal kebutuhan gaya penetrasi diantara ketiganya.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauzan A., 2008. Prediction of Characteristics the Supit Urang Landfill Production at Malang Regency East Java Indonesia. International Research and Exhibition, BGP Engineers and UMM. 2008. Malang.
- AGO, 1997. Methane Capture and Use – Waste management workbook, Department of the Environment and Water Resources.
- Anonim, 2008 Desain of Landfill. Terjemahan oleh Tim SWM Universitas Muhammadiyah Malang. 2008. Malang.
- Anonim, 2007. Studi kelayakan proyek gas lahan TPA. Makasar. Bank Dunia.
- Bowles, J.E., 1993. Analisis dan Desain Pondasi. Terjemahan oleh pantur silaban, Ph.D. 1997. Jakarta. Erlangga.
- Jacobs, J. and Maskan, W., 2006. Landfill Gas. Terjemahan oleh Tim SWM Universitas Muhammadiyah Malang. 2008. Malang.
- Usepa, 1993. ATSDR. <http://www.atsdr.cdc.gov/landfill/html/ch2.html>, USA. Terjemahan oleh Tim SWM Universitas Muhammadiyah Malang. 2008. Malang.

LAMPIRAN

Grafik Sondir

