

MODEL SEBARAN LIMBAH BATUBARA DI RAWA KALIMATI, KECAMATAN BABAKANCIKAO, KABUPATEN PURWAKARTA, PROVINSI JAWA BARAT

COAL WASTE DISTRIBUTION MODEL IN KALIMATI SWAMP, BABAKANCIKAO
SUBDISTRICT, PURWAKARTA DISTRICT, WEST JAVA PROVINCE

Moch Ridfan Trisnadiansyah^{*1}, M. Sapari Dwi Hadian¹, Emi Sukiyah¹

^{*}Email: moch13003@mail.unpad.ac.id

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

Abstrak— Limbah batubara merupakan limbah yang mengandung unsur logam berat dan dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun. Rawa Kalimati yang terletak di Desa Cilangkap, Kecamatan Babakancikao berdekatan dengan aliran Sungai Citarum dan area persawahan warga. Selain itu, Rawa Kalimati juga berada di samping industri serat rayon yang memakai bahan bakar batubara untuk menunjang proses produksi. Hal ini menjadi potensi adanya pencemaran dan masalah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran limbah batubara dan estimasi volume timbunannya sehingga langkah pemulihan fungsi lingkungan dapat berjalan dengan baik. Metode penelitian berupa pemboran inti dan pemboran tangan di beberapa titik lokasi, pengukuran permeabilitas dan pemodelan material timbunan ataupun batuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah batubara tersebar di area blok-blok timbunan, lapisan bawahnya tersusun oleh lempung dan lanau dengan ketebalan beragam dan bagian selatan pada kedalaman dasar bor terdapat akuifer di lapisan batupasir. Nilai permeabilitas tinggi berada di lapisan batupasir yang bertindak sebagai akuifer, sedangkan permeabilitas rendah berada di lapisan lempung yang berada di atasnya. Hasil estimasi perhitungan volume limbah sebesar 88.118,26 m³ yang menempati area seluas 38.544,72 m².

Kata kunci — Batubara, limbah, industri, Kalimati

Abstract— Coal waste is waste that contains heavy metal elements and is categorized as a hazardous and toxic material. Kalimati swamp, which is located in Cilangkap Area, Babakancikao Subdistrict, is adjacent to the Citarum River and the residents' rice fields. In addition, the Kalimati Swamp is also located beside the rayon fiber industry which uses coal as fuel to support the production process. This is a potential for pollution and environmental problems. This study aims to identify the distribution of coal waste and estimate the volume of its stockpiles so that environmental recovery steps can go well. The research method consists of core drilling and hand auger at several locations, permeability measurement and material or rock modeling. The results showed that coal waste is scattered in the area of stockpile blocks, the bottom layer is composed of clay and silt with various thicknesses and the southern part of the bottom of the drill there is aquifer in the sandstone layer. The high permeability value is in the sandstone layer which acts as an aquifer, while the low permeability is in the clay layer. The estimation result of waste volume is 88,118.26 m³ which occupies an area of 38,544.72 m².

Keywords — Coal, waste, industry, Kalimati

I. PENDAHULUAN

Masalah lingkungan merupakan masalah yang terus berkembang, dikarenakan masalah tersebut bukan hanya masalah alami atau bagian dari proses alam saja namun juga ada campur tangan manusia yang memberikan pengaruh terhadap kerusakan atau

perubahan alam. Ekosistem dari suatu lingkungan dapat terganggu kelestariannya karena adanya pencemaran dan merupakan bahaya yang senantiasa mengancam kehidupan dari waktu ke waktu [1]. Persoalan lingkungan saat ini, seperti pencemaran, kerusakan hutan, tanah longsor, banjir, dan lain sebagainya dipercaya sebagai dampak negatif yang

bersumber dari faktor manusia. Salah satu bahasan yang menarik ialah dampak yang muncul dari limbah hasil aktifitas industri terhadap lingkungan sekitar, dalam hal ini kontaminasi pencemaran terhadap lahan sekitar lokasi industri.

Purwakarta, khususnya Kecamatan Babakancikao adalah salah satu daerah yang memiliki cukup banyak industri karena kemudahan akses transportasi dan berdekatan dengan sumber air waduk Jatiluhur. Saat ini menurut BPS [2], jumlah industri manufaktur sedang/besar yang berada di wilayah ini sejumlah 11 industri dan didominasi oleh industri tekstil.

Rawa Kalimati secara administratif terletak di Desa Cilangkap, Kecamatan Babakancikao, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. Rawa tersebut terletak di samping industri yang menghasilkan serat rayon yang digunakan sebagai bahan baku tekstil dengan kapasitas 578 ton/hari serta hasil samping berupa sodium sulfat. Lokasi industri menempati area seluas ±56 Ha, yang menghasilkan limbah padat berupa *sludge organic* dan *inorganic (mixed sludge)*. *Sludge* tersebut dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Campuran *sludge*, kapur dan semen yang telah kering kemudian ditimbun pada fasilitas *landfill* industri tersebut.

Untuk menunjang proses produksi serat rayon, industri dekat rawa Kalimati ini telah membangun unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan sistem pembakaran sirkulasi unggun terfluidakan (*Circulated Fluidized Bed Combustion/CFBC*) berkapasitas 36 MW yang menggunakan bahan bakar batubara. Dari pembakaran batubara tersebut akan

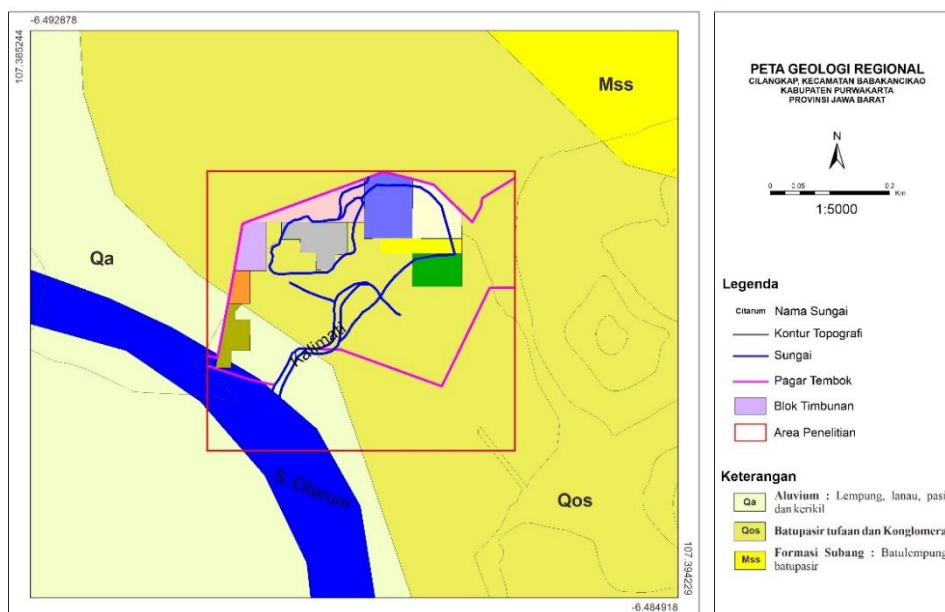
dihasilkan *fly ash* dan *bottom ash*. Sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 [3], limbah B3 berupa *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan bahan bakar batubara termasuk dalam kategori limbah B3 dari sumber spesifik khusus dengan kode limbah B409 (untuk *fly ash*) dan B410 (untuk *bottom ash*) dengan kategori bahaya 2. Hal tersebut dapat berpotensi mengontaminasi lahan rawa apabila terjadi hujan lebat dikarenakan lokasi timbunan material limbah batubara dari industri terletak lebih tinggi daripada area Kalimati sehingga air hujan yang membawa bahan batubara dapat mengalir ke daerah rawa Kalimati yang berada di bawahnya.

Untuk itu, perlu di ambil langkah-langkah agar kontaminasi di rawa Kalimati tidak terjadi dan yang sudah terjadi dapat dilakukan pembersihan dari limbah batubara. Salah satu kajian yang perlu dilakukan adalah menganalisa model sebaran limbah sehingga masalah pencemaran di lokasi Kalimati secara tepat dapat diketahui secara kuantitas dan kualitasnya.

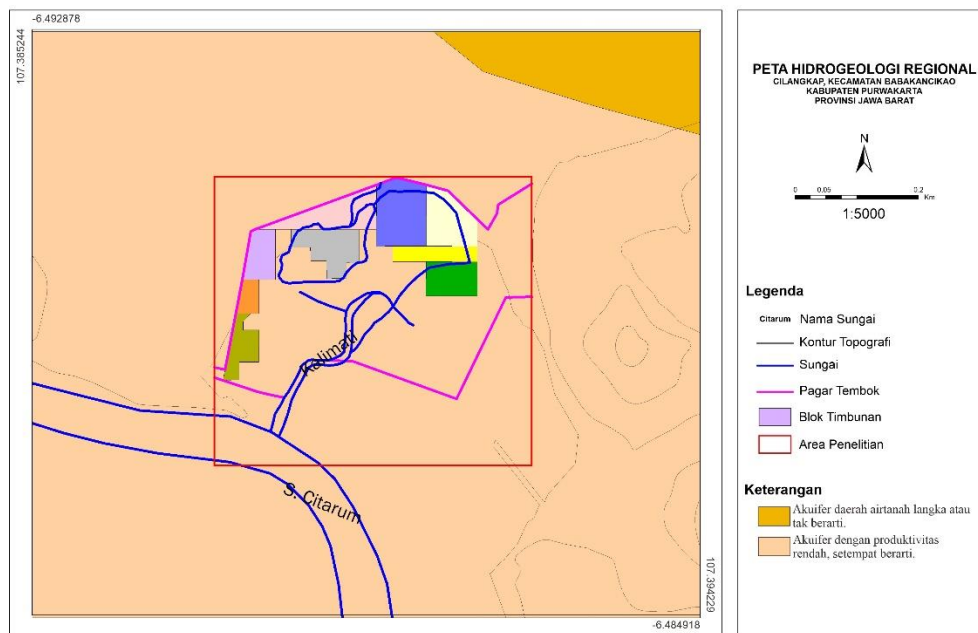
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Regional

Menurut peta geologi regional lembar Karawang, Jawa Barat [4], satuan batuan daerah penelitian dan sekitarnya berada pada Endapan Aluvium (Qa), Satuan Batupasir tufaan dan Konglomerat (Qos) dan Satuan Batupasir-batulempung Formasi Subang (Mss).



Gambar-1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar-2. Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian

B. Hidrogeologi Regional

Menurut Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar II Cirebon [5], terdapat 2 sistem akuifer di daerah penelitian dan sekitarnya yaitu akuifer daerah air tanah langka atau tak berarti dan akuifer dengan produktivitas rendah setempat berarti.

C. Limbah Batubara

Batubara adalah batuan sedimen kompleks yang mudah terbakar. Sebagian besar terdiri dari sisa-sisa tumbuhan dan turunan tumbuhan. Awalnya didapatkan sebagai gambut, kemudian sebagai lumpur, lalu mengalami transisi menjadi batubara melalui proses fisika dan kimia yang disebabkan oleh kompaksi dan panas dari penguburan yang berkepanjangan hingga kedalaman beberapa kilometer dan dalam kurun waktu hingga beberapa ratus juta tahun. [6].

Batubara dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar PLTU. Akan tetapi, hasil pembakaran batubara dapat mencemari lingkungan melalui polutan. Hal tersebut dinilai kurang efisien dan kurang memberi nilai ekonomis [7]. Walaupun saat ini PLTU batubara menjadi penopang krisis listrik, namun Masyhudi (2018) dalam Pramanik [8] berpendapat bahwa pembangunan PLTU memiliki dampak buruk bagi kondisi alam. Dampak buruk tersebut berasal dari bahan bakar yang digunakan yakni batubara. Hasil dari pembakaran batubara di PLTU berupa limbah padat abu dasar sekitar 25% (*bottom ash*) dan abu terbang 75% (*fly ash*).

III. METODE

A. Deliniasi Lokasi Limbah Batubara

Untuk menghitung volume material limbah batubara di lokasi Kalimati, telah dilakukan pemboran tangan dan pemboran inti. Sebaran titik lokasi pemboran disajikan pada Gambar-3. Terdapat beberapa titik lokasi bor yang merupakan timbunan material limbah di bagian utara. Pekerjaan pemboran dilakukan pada tahun 2018 dan telah dilakukan penyusunan evaluasi kerja [9].

B. Pemboran Inti

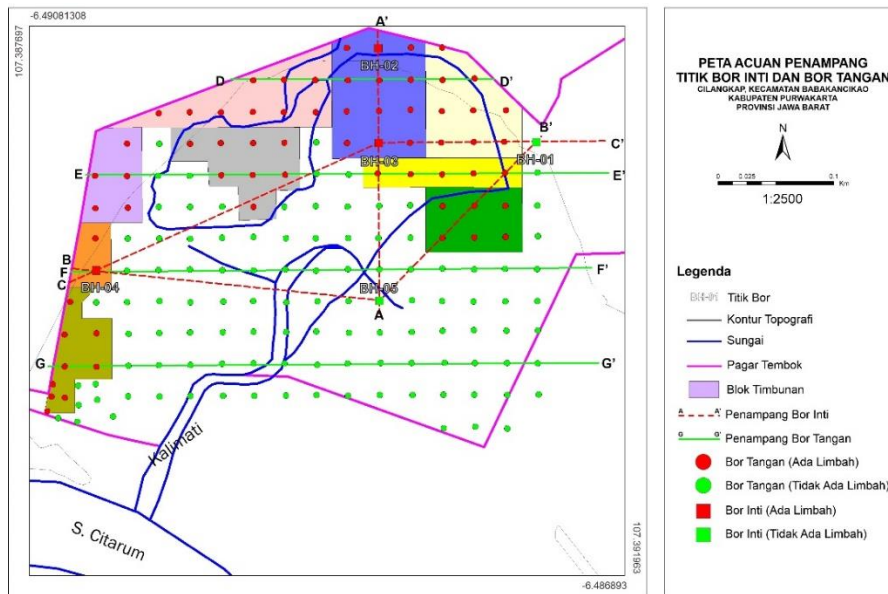
Pemboran inti memberikan data mengenai jenis peralihan tanah atau batuan, ketebalan dan urutan lapisan tanah atau batuan [10]. Umumnya pemboran inti dilakukan pada kedalaman yang cukup dalam. Hal ini diperlukan agar ahli geoteknik atau pihak perencana yang menggunakan data tersebut dapat menjalankan program pembangunan dengan baik dan dapat dipertanggungjawabkan. Pekerjaan meliputi persiapan, pemboran, dan pengambilan sampel tanah atau batuan.

C. Pemboran Tangan

Pemboran tangan merupakan suatu metode pemboran yang paling sederhana dan ekonomis untuk mengetahui peralihan atau jenis tanah pada kedalaman dangkal. Bor tangan adalah sebuah alat untuk pembuatan lubang bor kecil di dalam tanah. Alat ini digunakan secara manual oleh operatornya dengan cara diberi pemberat kemudian diputar

sampai terisi penuh oleh sampel tanah. Pemboran tangan dilakukan untuk mempelajari jenis tanah, sifat-sifatnya dan urutan lapisan dari permukaan sampai ke bawah. Objek tanah yang diteliti adalah tanah residu karena tanah tersebut merupakan hasil

pelapukan batuan yang terjadi di tempat asalnya dengan tanpa melalui transportasi atau tetap berada sekitar batuan dasar. Selain tanah residu, pemboran dimaksudkan untuk mencari sebaran lateral dan vertikal material limbah batubara di Kalimati.



Gambar-3. Peta Lokasi Titik Bor Inti dan Bor Tangan

D. Pengukuran Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu batuan untuk mengalirkan fluida melalui pori-pori batuan tanpa merusak partikel pembentuk batuan [11]. Pada kasus tanah yang lolos air, viskositas dan berat isi adalah satu-satunya variabel fluida yang mempengaruhi permeabilitas. Variabel lebih lanjut yang dapat mempunyai pengaruh yang besar terhadap permeabilitas tanah berbutir halus yang relatif kedap air adalah polaritas cairan. Berdasarkan petunjuk teknik pengujian tanah dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, karakteristik tanah yang mempengaruhi permeabilitas adalah: (1) ukuran partikel, (2) angka pori, (3) komposisi, (4) fabrik, (5) derajat kejenuhan.

E. Analisa Data

Semua titik bor tangan dan bor inti saling dikorelasikan kemudian dilakukan pemodelan untuk memperoleh gambaran sebaran lapisan batuan ataupun tanah dan material limbah batubara dengan melakukan penarikan antar titik bor. Hasil yang ditampilkan dalam penelitian berupa penampang 2D yang melewati beberapa lokasi titik bor.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1) Litologi Hasil Pemboran

Telah dilakukan pemboran tangan sebanyak 168 titik dengan kedalaman rata-rata antara 3-5m tergantung kedalaman material limbah dan pemboran inti sebanyak 5 titik dengan kedalaman 15 m.



Gambar-4. Dokumentasi Kegiatan Lapangan

Hasil pemboran memperlihatkan susunan jenis litologi secara vertikal. Secara umum terjadi dari

lumpur, lanau, lempung dan batupasir berukuran kasar-kerakal. Letak kedalaman material limbah batubara umumnya berada di permukaan, dicirikan dengan warna gelap, berukuran lanau sampai batupasir kasar.

2) Permeabilitas Batuan

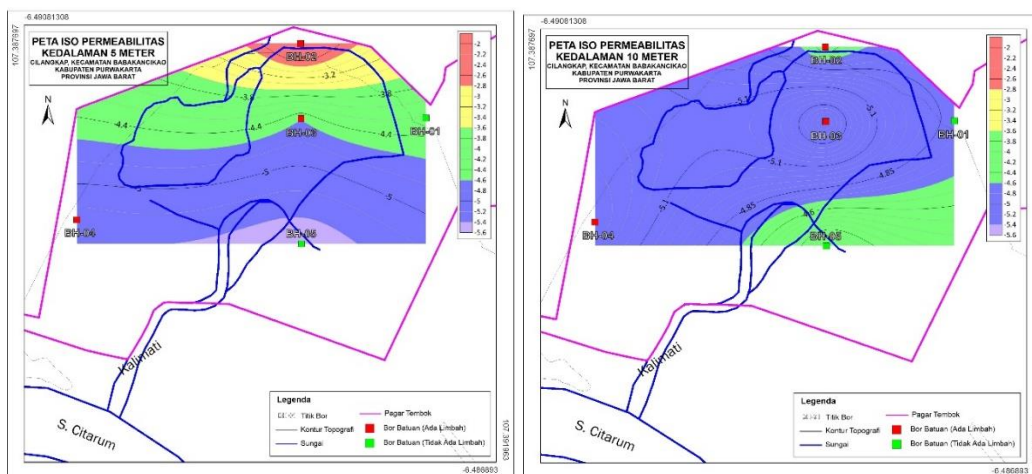
Litologi yang diuji permeabilitasnya merupakan litologi yang mewakili masing-masing dari titik bor inti. Hasil pengujian menunjukkan data permeabilitas terendah sebesar $2,6 \times 10^{-6}$ cm/detik pada litologi batulempung yang tersebar pada kedalaman 10 meter, sedangkan data permeabilitas tertinggi sebesar $4,5 \times 10^{-4}$ cm/detik pada litologi batupasir yang tersebar di bagian selatan pada kedalaman 15 meter.

Dari data tersebut masing-masing kedalaman dibuatkan peta iso-permeabilitas yang didigitasi ulang untuk menggambarkan persebaran

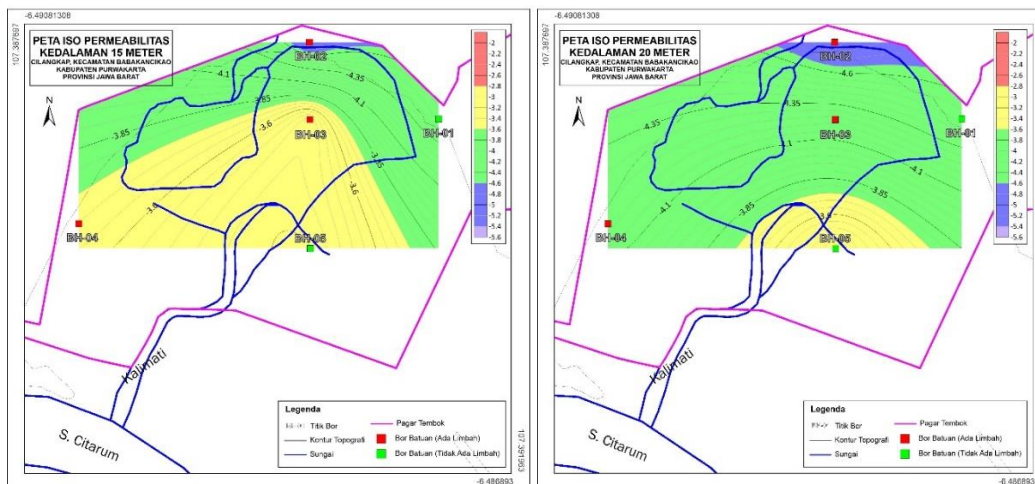
permeabilitas batuan secara lateral. Peta iso-permeabilitas yang dibuat dalam penelitian pada kedalaman 5m, 10m, 15m dan 20m. Interpolasi permeabilitas pada permukaan topografi (0 m) tidak dilakukan karena didominasi oleh material timbunan limbah batubara.

Pada kedalaman 5 meter, batuan memiliki pola permeabilitas yang relatif beragam. Pada daerah utara, nilai permeabilitas tinggi dikarenakan kondisi batuan didominasi oleh limbah batubara dan sedikit lanau. Sementara pada daerah selatan, nilai permeabilitas rendah dikarenakan kondisi batuan didominasi oleh lanau dan lempung.

Pada kedalaman 10 meter, batuan memiliki nilai permeabilitas yang relatif sama. Hal ini dikarenakan batuan tersusun oleh lempung. Lempung yang memiliki nilai permeabilitas rendah bertindak sebagai lapisan menyekat bagi lapisan akuifer di bawahnya.



Gambar-5. Peta Iso-Permeabilitas Kedalaman 5 dan 10 meter



Gambar-6. Peta Iso-Permeabilitas Kedalaman 15 dan 20 meter

Pada kedalaman 15 meter, batuan yang memiliki nilai permeabilitas tinggi berada di bagian selatan

kemudian menipis ke bagian utara menjadi batuan yang memiliki nilai permeabilitas rendah. Bagian

selatan didominasi oleh batupasir sedangkan bagian utara didominasi oleh lempung. Blok timbunan di dekat pagar tembok diharuskan untuk segera dilakukan pengelolaan lingkungan yang baik supaya lapisan batupasir yang bertindak sebagai akuifer pada kedalaman 15 meter tidak tercemar.

Pada kedalaman 20 meter, sebaran nilai permeabilitas relatif sama dengan kedalaman sebelumnya. Namun, batuan yang memiliki nilai permeabilitas tinggi semakin menipis ke arah selatan dan batuan yang memiliki nilai permeabilitas rendah semakin menebal ke arah yang sama.

B. Pembahasan

1) Model Sebaran Limbah Batubara

a. Penampang Bor Inti

Penampang A-A' berarah utara-selatan. Pada bagian itu, batuan yang mendominasi di permukaan adalah limbah batubara. Material timbunan ini tersebar dari utara sampai ke tengah penampang. Lapisan di bawahnya tersusun oleh lanau dan lempung yang memiliki ketebalan 5-10 meter. Kecuali di bagian utara, lapisan lempung lebih tebal sampai mencapai dasar penampang. Sementara itu, pada kedalaman 10-25 meter terdapat lapisan akuifer yaitu batupasir dan pasir lempungan yang menyebar dari selatan sampai ke tengah penampang. Penampang B-B' dan C-C' memiliki orientasi arah yang sama yaitu barat-timur. Secara umum, kondisi kedua penampang ini memiliki pola lapisan batuan yang hampir sama. Terlihat pada kedalaman 5-15

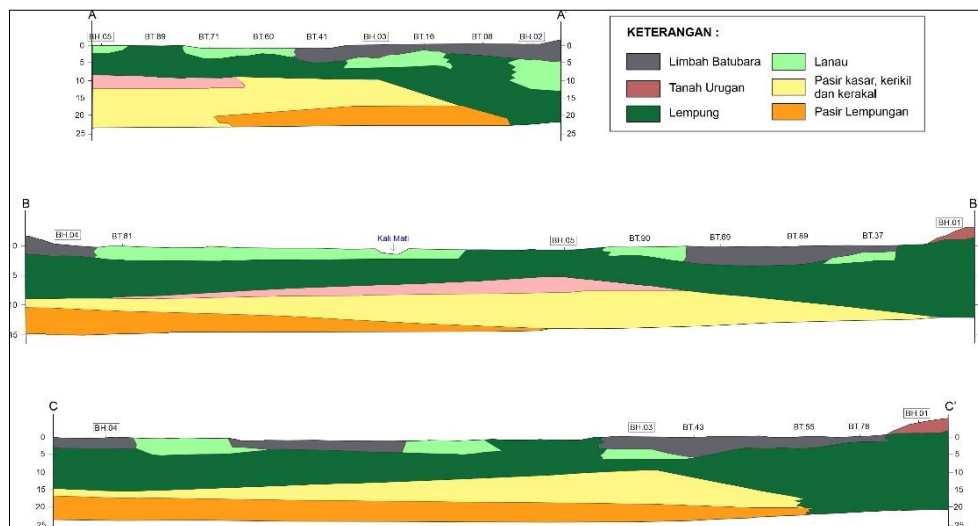
meter, lapisan lempung tersebar merata dari barat sampai ke timur penampang. Sedangkan lapisan batuan di bawahnya dari barat ke tengah tersusun oleh lapisan batupasir dan pasir lempungan yang bertindak sebagai akuifer. Sementara itu sebaran limbah batubara tersebar di beberapa titik permukaan blok timbunan dengan ketebalan 0-5 meter.

b. Penampang Bor Tangan

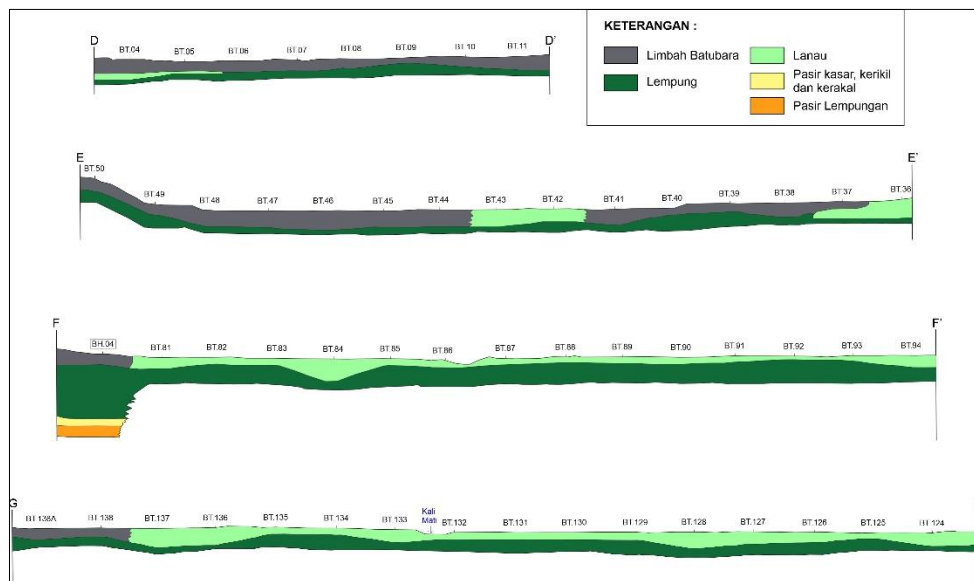
Penampang bor tangan yang dibuat semuanya berorientasi arah barat-timur. Penampang dibuat di 3 bagian yaitu area utara, area tengah dan area selatan.

Penampang D-D' berada di area utara atau blok timbunan. Di permukaan, semua batuan ditutupi oleh material limbah batubara dengan ketebalan 3-5 meter. Kemudian di bawahnya tersusun oleh batuan lempung di semua kedalaman dan sedikit lanau di bagian barat.

Pada area tengah, terdapat penampang E-E' dan F-F' yang menunjukkan perbedaan pola sebaran material dan batuan. Di permukaan penampang E-E' masih tersebar material limbah batubara dengan ketebalan 4-6 meter sedangkan di permukaan penampang F-F' material limbah batubara hanya tinggal bagian barat. Lapisan lanau pada penampang E-E' hanya muncul di bagian tengah dan tidak menjadi lapisan atas dari lempungnya, lapisan lempung langsung kontak dengan material timbunan pada kedalaman 6-8 meter di bawah permukaan. Sementara pada penampang F-F', lapisan lanau langsung muncul di permukaan dan menjadi lapisan atas dari lempungnya.



Gambar-7. Penampang Litologi Titik Bor Inti dan Bor Tangan



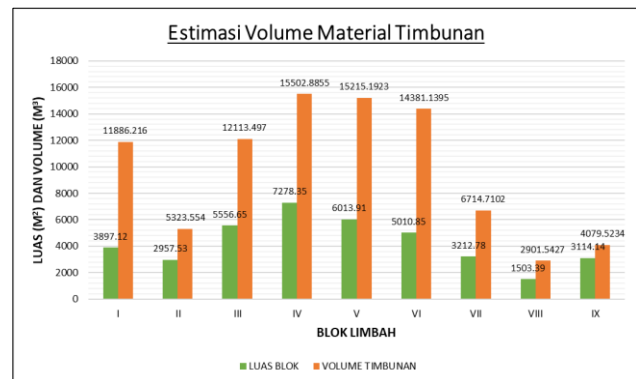
Gambar-8. Penampang Litologi Bor Tangan

Penampang G-G' berada di area selatan dan memotong aliran kalimati. Terdapat material limbah batubara di permukaan bagian barat dengan ketebalan yang tipis. Sementara itu, secara umum secara lateral dan vertikal disusun oleh lapisan lanau kemudian lempung dengan masing-masing ketebalan yang teridentifikasi sebesar 2-4 meter.

Limbah batubara yang sudah dimodelkan dan diketahui sebarannya tidak hanya berdampak negatif, namun mempunyai manfaat positif apabila di kelola dengan baik [12]. Dewasa ini penggunaan abu terbang (*fly ash*) sudah banyak digunakan dalam bahan penyusun beton yang bertujuan untuk meminimalisir penggunaan semen dalam kontruksi bangunan yang semakin meningkat dan menekan angkat konsumsi energi dalam pembuatan semen. Menurut Qomarudin [13], bahan dasar pengganti semen ini selain sebagai tindakan yang dianggap efektif untuk pemanfaatan bahan sisa limbah pabrik juga sebagai tindakan peduli lingkungan. Afrianita dkk [14] juga menyatakan abu terbang dapat digunakan sebagai bahan penyerap pada pengolahan limbah cair yang relative murah. Sementara itu, abu padat yang memiliki nilai kalori tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kembali dengan cara dicampur dengan batubara. Material timbunan lain, sebagian dapat dimanfaatkan pihak pengelola lanjutan yang membutuhkan kalori rendah sebagai bahan baku alternatif ataupun untuk material kontruksi. Pemanfaatan integrasi memiliki prospek signifikan baik pada penghematan energi maupun pada pengurangan emisi gas rumah kaca [15].

2) Estimasi Volume Material Timbunan

Hasil perhitungan volume limbah dapat diketahui dengan mengalikan ketebalan rata-rata dengan luas masing-masing blok sebagaimana disajikan pada Tabel-1 yaitu sebesar 88.118,26 m³ yang menempati area seluas 38.544,72 m².



Gambar-9. Grafik Estimasi Volume Material Timbunan

Terlihat dari Gambar-9, persentase luas blok terhadap volume timbunan cenderung memiliki perbandingan yang tinggi. Perbandingan paling tinggi berada pada Blok I dengan rincian volume timbunan 205% dari luas blok. Sedangkan perbandingan paling rendah berada pada Blok IX dengan rincian volume timbunan 31% dari luas blok. Grafik ini juga menunjukkan bahwa material timbunan sudah memiliki estimasi volume yang berlebih sehingga perlu upaya pembersihan atau pengangkutan agar limbah batubara ini tidak mencemari lingkungan sekitar terutama area Kalimati.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Model limbah batubara dapat memberikan informasi sebaran kondisi permukaan dan bawah permukaan material timbunan dan batuan berdasarkan korelasi titik bor inti dan bor tangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material limbah batubara relatif besar volume dan ketebalannya di sekitar blok-blok pagar tembok. Material tersebut menutupi lapisan lanau dan lempung di bawahnya dengan ketebalan dan sebaran yang beragam. Ketebalan lapisan lempung pada bagian utara menyebar sampai kedalaman dasar model. Sedangkan pada bagian selatan, lapisan lempung menjadi lapisan penyekat bagi lapisan batupasir di bawahnya yang bertindak sebagai akuifer. Hasil estimasi perhitungan volume limbah sebesar 88.118,26 m³ yang menempati area seluas 38.544,72 m².

B. Saran

Industri yang berada di area Kalimati mengambil langkah-langkah (sebagian sudah dilakukan) untuk pemulihan lingkungan seperti pembuatan sumur pantau, pembuatan kolam retensi, pengelolaan timbunan limbah dengan berbagai alternatif, restorasi lahan terkontaminasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Presiden PT Indo Bharat Rayon -Mr Bharat Kumardan Ibu Haruki Agustina dan Bapak Haneda Sri Mulyanto dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI yang telah memberikan izin akses data dan informasi mengenai bahasan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyuni Ar, D. Implementasi Program Pengendalian Pencemaran Dan Kerusakan Lingkungan Hidup Dalam Normalisasi Sungai Malinau Dari Limbah Batubara (Studi Di Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Malinau). Doctoral Dissertation, University Of Muhammadiyah Malang. 2019
- [2] BPS Kecamatan Babakancikao. Kecamatan Babakancikao Dalam Angka 2020. BPS. Purwakarta.
- [3] Indonesia, P. R. Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, 2014. Sekretariat Negara : Jakarta.
- [4] Achdan, A. & Sudana, D. Peta Geologi Regional Lembar Karawang, Skala 1 : 100.000, 1992, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi : Bandung.
- [5] Soetrisno, S. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar II Cirebon skala 1 : 250.000, 1983, Direktorat Geologi Tata Lingkungan : Bandung.
- [6] O'Keefe, J. M., Bechtel, A., Christanis, K., Dai, S., DiMichele, W. A., Eble, C. F., & Wagner, N. J. On the fundamental difference between coal rank and coal type, 2013, International Journal of Coal Geology, 118, 58-87.
- [7] Sahal, M. Studi Potensi Sumberdaya Batubara di Desa Dowan Kecamatan Gunem Kabupaten Rembang dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis, 2013, FMIPA: UNNES.
- [8] Pramanik, R. A., Purnomo, E. P., & Kasiwi, A. N. Dampak perizinan pembangunan pltu batang bagi kemajuan perekonomian masyarakat serta pada kerusakan lingkungan, 2020, KINERJA, 17(2), 248-256.
- [9] R. I., KLHK. Rencana Pemulihan Fungsi Lingkungan Hidup Lokasi Kalimati-Desa Cilangkap, Kecamatan Cilangkap, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat, 2019, Laporan Presentasi.
- [10] SNI2436. Tata Cara Pencatatan dan Identifikasi Hasil Pengeboran Inti, 2008, Badan Standar Nasional Indonesia : Jakarta.
- [11] Fitrianti, F. Pengaruh Lumpur Pemboran Dengan Emulsi Minyak Terhadap Kerusakan Formasi Batu Pasir Lempungan (Analisa Uji Laboratporium), 2012, Journal of Earth Energy Engineering, 1(1), 67-79.
- [12] Fatharoni, N., Saputro, I. N., & Sumarni, S. Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Pada Beton Non Pasir Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Untuk Green Pedestrian Road, 2015, Pendidikan Teknik Bangunan, 6(6).
- [13] Qomaruddin, M., Ariyanto, A., Istianah, I., & Zahro, F. Pemanfaatan Limbah Plastik Menjadi Agregat Pada Mortar Geopolimer, 2020, Dinamika Rekayasa, 16(2), 121-126.
- [14] Afrianita, R., & Dewilda, Y. Potensi Fly Ash Sebagai Adsorben Dalam Meyisihkan Logam Berat Cromium (Cr) Pada Limbah Cair Industri, 2014 Jurnal Dampak, 11(1), 67-73.
- [15] Damayanti, R. Abu batubara dan pemanfaatannya: Tinjauan teknis karakteristik secara kimia dan toksikologinya, 2018, Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 14(3), 213-231.

