

Pengelolaan Limbah *Sandblasting* melalui Teknologi Stabilisasi-Solidifikasi Berbasis Sulfur Hasil Samping Industri *Oil and Gas*

Muhammad Akbar Febianto¹, Luqman Cahyono¹, Nur Fajar Aprillia Sari¹

Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 60111

*E-mail : luqmancahyono24@ppns.ac.id

Abstrak

Proses *sandblasting* merupakan metode pembersihan permukaan logam yang umum digunakan di industri perkapalan, namun menghasilkan limbah B3 berupa debu abrasif yang mengandung logam berat seperti tembaga (Cu) dan kromium (Cr). Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan tepat. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019 mencatat sebanyak 66 kejadian kedaruratan limbah B3, dengan luas lahan terkontaminasi yang sedang dipulihkan mencapai 840.024,85 m². Di sisi lain, limbah sulfur dari industri *oil and gas* juga menjadi permasalahan tersendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah sulfur sebagai bahan pengikat dalam proses solidifikasi limbah *sandblasting* menggunakan metode *Sulphur polymer concrete* (SPC). Metode yang digunakan meliputi pengujian sifat kimia material dengan X-Ray Fluorescence (XRF), perencanaan komposisi campuran (*mix design*), pembuatan benda uji berbentuk kubus, dan pengujian kuat tekan sesuai Permen LHK No. 6 Tahun 2021. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa limbah *sandblast* memiliki kandungan SiO₂ tinggi (87,93%) dan sisanya adalah logam berat, sedangkan limbah sulfur memiliki kemurnian SO₃ sebesar 99,2% sisanya adalah pengotor. Pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa variasi A1 hingga A4 memenuhi standar minimum 10 ton/m², dengan variasi A3 sebagai komposisi terbaik. Penelitian ini menunjukkan bahwa SPC berpotensi sebagai solusi pengelolaan limbah B3 dengan stabilisasi - solidifikasi yang aman dan berkelanjutan, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah industri sebagai material konstruksi alternatif.

Keywords : Solidifikasi, Limbah B3, Kuat Tekan, *Sandblasting*, SPC

1. PENDAHULUAN

Proses *sandblasting* merupakan metode pembersihan permukaan logam yang umum digunakan dalam industri perkapalan, khususnya pada area dock. Teknik ini melibatkan penyemprotan material abrasif seperti pasir silika atau steel grit dengan tekanan tinggi untuk menghilangkan kontaminan seperti karat, cat lama, kerak, dan minyak dari permukaan lambung kapal. Selain berfungsi sebagai pembersih, *sandblasting* juga bertujuan menciptakan profil kekasaran pada permukaan logam agar daya rekat antara substrat dan pelapis pelindung seperti cat menjadi lebih optimal. Namun, kegiatan ini menghasilkan limbah berupa debu abrasif yang mengandung logam berat seperti tembaga (Cu) dan kromium (Cr), yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan serius jika tidak dikelola dengan baik.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014, limbah pasir silika dari proses *sandblasting* dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah ini dapat mencemari tanah dan air serta membahayakan kesehatan manusia apabila dibuang tanpa perlakuan khusus. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019 mencatat sebanyak 66 kejadian kedaruratan limbah B3, dengan luas lahan terkontaminasi yang sedang dipulihkan mencapai 840.024,85 m². Fakta ini menunjukkan urgensi pengelolaan limbah *sandblast* secara sistematis dan berkelanjutan, terutama di sektor industri dock yang menghasilkan limbah *sandblast* dalam jumlah besar.

Salah satu metode pengolahan limbah B3 yang diatur dalam Permen LHK No. 6 Tahun 2021 adalah solidifikasi, yaitu proses solidifikasi dengan bahan pengikat untuk mempermudah penyimpanan dan mencegah penyebaran zat berbahaya ke lingkungan dengan kuat tekan minimumnya sebesar 0,98 Mpa. Dalam konteks ini, penggunaan *Sulphur polymer concrete* (SPC) sebagai media solidifikasi menawarkan pendekatan inovatif yang tidak hanya mampu mengikat logam berat, tetapi juga berpotensi menghasilkan material konstruksi alternatif. SPC merupakan campuran polimer sulfur dengan agregat yang dapat menginkorporasi limbah B3 ke dalam matriks padat, sehingga mengurangi mobilitas unsur berbahaya dan meningkatkan keamanan lingkungan.

Sulfur adalah senyawa non logam dengan lambang S dan mempunyai nomor atom 16 pada tabel periodik. Pada proses produksi *oil and gas*, sulfur dihasilkan pada proses pemurnian sulfur pada unit *Sulphur Recovery Unit* (SRU). SRU merupakan fasilitas pada industri minyak dan gas yang berfungsi mengolah gas hidrogen sulfida (H₂S) menjadi sulfur melalui proses Claus, yang terdiri atas tahap termal dan katalitik. Pada tahap termal, sebagian H₂S dibakar menghasilkan sulfur dioksida (SO₂), kemudian direaksikan kembali dengan sisa H₂S menggunakan katalis untuk membentuk sulfur dan air. Sulfur yang terbentuk dikondensasi dan dipisahkan, dengan tingkat efisiensi mencapai 95–99,9%. SRU berperan penting dalam menurunkan emisi berbahaya, menjaga kualitas gas

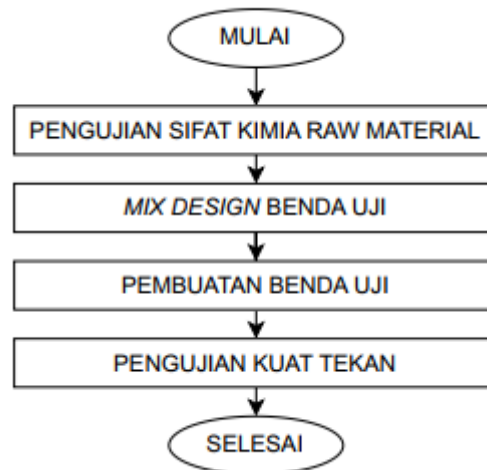
alam, serta memenuhi ketentuan lingkungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas metode solidifikasi menggunakan *Sulphur polymer concrete* dalam pengelolaan limbah debu *sandblast* dari industri *dock*, serta penyusunan rekomendasi teknis yang mendukung implementasi metode ini secara praktis. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta solusi pengelolaan limbah B3 yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung upaya perlindungan lingkungan dan pemulihan lahan terkontaminasi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tahapan meliputi studi literatur, persiapan alat dan bahan, pengujian karakteristik material, perencanaan komposisi campuran (*mix design*), pembuatan benda uji, dan pengujian kuat tekan.

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



2.1 Pengujian Sifat Kimia Material

Pengujian sifat kimia material dilakukan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur dalam sampel. Teknik ini memanfaatkan sinar-X yang merangsang atom sehingga menghasilkan radiasi sekunder yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Dalam penelitian ini, analisis XRF diterapkan pada limbah *sandblast* dari industri *dock* dan limbah sulfur hasil pemurnian dari industri *oil and gas*. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan kandungan logam berat dan karakteristik kimia sebagai dasar formulasi *Sulphur polymer concrete* (SPC) dalam proses solidifikasi limbah B3.

2.2 Mix design Benda Uji

Percobaan solidifikasi limbah B3 dilakukan dengan benda uji berbentuk kubus berukuran 50 x 50 x 50 mm. Benda uji dibuat dari campuran beberapa material sesuai proporsi yang dirancang untuk memperoleh mutu minimum pengujian teknis solidifikasi limbah B3. Komposisi campuran tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Mix design benda uji

Kode Benda Uji	Pasir Silika Limbah Sandblast (Gram)	Limbah Sulfur Industri Oil and Gas (Gram)	2,5 % Bitumen Emulsifier yang Diambil dari Total Massa Bahan (Gram)
A1	136,75	51,63	4,71
A2	136,75	56,79	4,84
A3	136,75	61,95	4,97
A4	136,75	67,11	5,10
A5	136,75	72,28	5,23

2.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara *thermoset* atau pemanasan pada suhu 145°C hingga merubah fasa sulfur yang awalnya berbentuk padatan menjadi fasa cair, diberikan 2,5% bitumen emulsifier, dan diaduk hingga homogen. Setelah campuran sulfur dan bitumen homogen, dilakukan penambahan pasir silika sesuai komposisi dan aduk hingga homogen. Campuran limbah sulfur, limbah sandblast, dan bitumen dinyatakan homogen ketika secara fisik limbah *sandblast* yang awalnya kering terlihat basah keseluruhan. Tuangkan pada cetakan benda uji ukuran 50 x 50 x 50 mm, tunggu hingga dingin dan keluarkan benda uji dari cetakan. Setelah melalui proses pencetakan, benda uji disimpan selama 28 hari untuk memastikan proses pengerasan berlangsung

secara optimal.

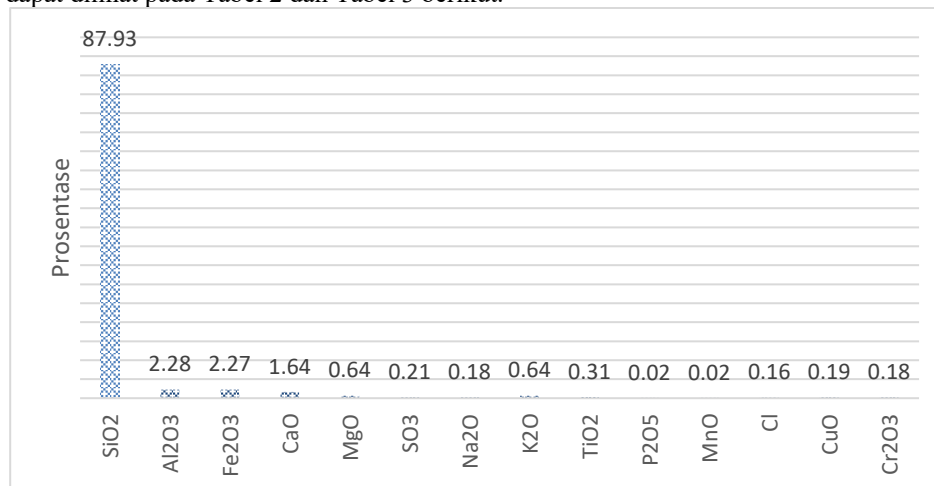
2.4 Pengujian Benda Uji

Benda uji yang telah dibuat dan dilakukan penyimpanan selama 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian terkait kuat tekan. Pengujian pada benda uji mengacu pada Permen LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang mengisyaratkan minimum kuat tekan pada solidifikasi limbah B3 adalah 10 ton/m².

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

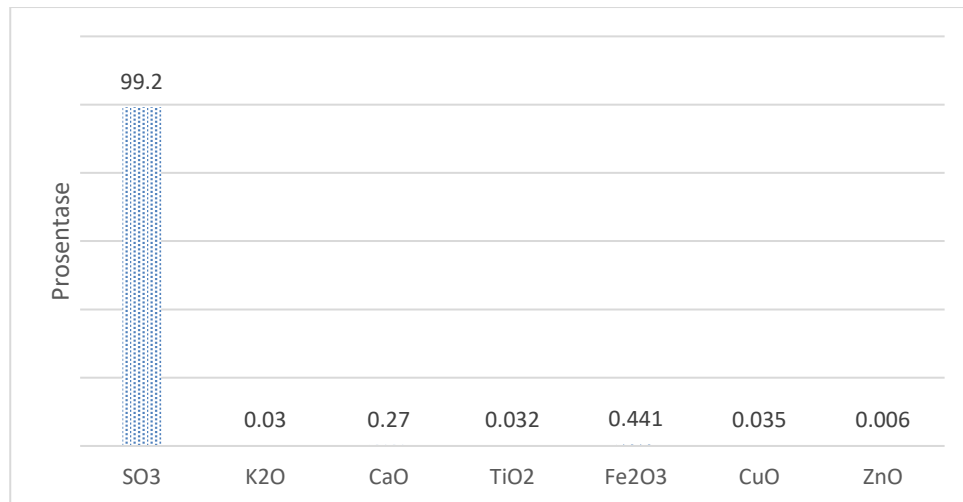
3.1 Analisis XRF Material

Pengujian XRF bertujuan untuk mengetahui senyawa penyusun pada material terlebih khususnya material oksida. Pengujian XRF dilakukan pada kedua material yakni limbah sulfur dan limbah *sandblast*. Hasil dari uji XRF material dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.



Gambar 2. Hasil Uji XRF *Sandblast*

Berdasarkan hasil pengujian XRF, limbah *sandblasting* memiliki kandungan Silikon Dioksida (SiO₂) tertinggi sebesar 87,93%. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Cahyono (2024)0, dimana kandungan Si pada *sandblast* merupakan senyawa penyusun tertinggi yakni sebesar 65%. Tingginya kadar SiO₂ menunjukkan bahwa limbah ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam pembuatan *Sulphur polymer concrete* (SPC), karena dapat berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan tekan beton. Namun, hasil analisis XRF juga menunjukkan adanya kandungan logam berat berupa tembaga (Cu) dan kromium (Cr) yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Data XRF dapat dikonversi dari prosentase menjadi satuan mg/L sehingga diperoleh konsentrasi logam berat tembaga sebesar 1900 mg/L dan kromium sebesar 1800 mg/L. Sementara itu, sesuai dengan ketentuan baku mutu yang tercantum dalam Lampiran IX Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, batas maksimum yang diperbolehkan untuk tembaga adalah 1,300 mg/L dan untuk kromium adalah 0,005 mg/L. Dengan demikian, kandungan logam berat dalam limbah *sandblasting* tersebut melebihi standar yang diizinkan, sehingga perlu dilakukan pengelolaan limbah yang benar sehingga tidak mencemari lingkungan.

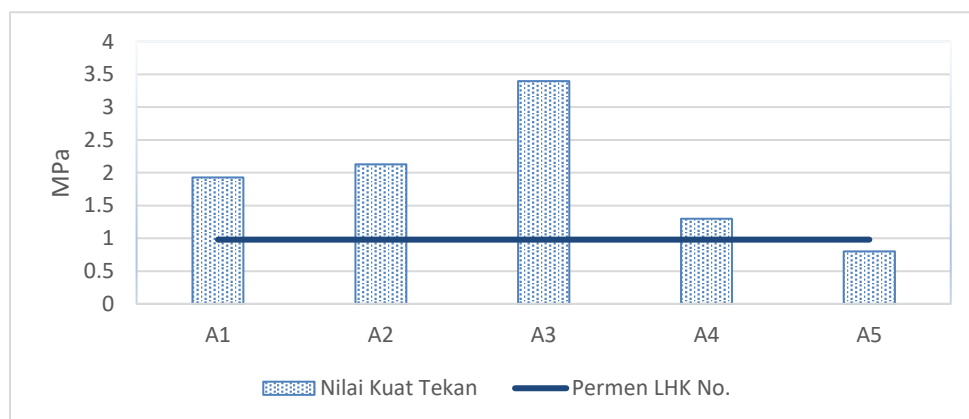


Tabel 3. Hasil Uji XRF Sulfur

Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa limbah sulfur dari industri *oil and gas* memiliki kadar sulfur sebesar 99,2% dan 0,8% pengotor. Sulfur yang digunakan adalah hasil samping dari proses pemurnian sulfur pada unit SRU sehingga sulfur yang dihasilkan tidaklah murni. Menurut Fediuk (2020), kemurnian sulfur memengaruhi kekuatan tekan *Sulphur polymer concrete* (SPC). Meskipun tidak sepenuhnya murni, kadar tersebut cukup tinggi untuk dimanfaatkan. Limbah ini berpotensi digunakan sebagai bahan SPC, sehingga dapat mengurangi timbulan limbah sulfur dari industri minyak dan gas.

3.2 Analisis Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ditujukan untuk mengetahui kualitas benda uji yang telah dibuat. Data hasil kuat tekan selanjutnya dibandingkan dengan standar pengelolaan limbah B3 menggunakan metode solidifikasi, sehingga dapat diketahui apakah benda uji layak atau tidak untuk dilakukan. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji yang telah disimpan selama 28 hari pada suhu ruang. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

Gambar 1. Hasil Kuat Tekan *Sulphur polymer concrete* (SPC)

Berdasarkan Permen LHK No. 6 Tahun 2021, dalam pengelolaan limbah B3 dengan metode solidifikasi harus memiliki kuat tekan minimal 10 ton/m². *Mix design* A1 hingga A4 memenuhi standar tersebut dan layak digunakan. Penambahan sulfur sebesar 10% meningkatkan kuat tekan karena ikatan merata melalui proses polimerisasi termoset dan tambahan emulsifier. Namun, penambahan sulfur hingga 40% menurunkan kuat tekan akibat kejenuhan sulfur dan kurangnya filler berupa limbah *sandblast* yang dapat diikat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Roman Fediuk (2020) yang menyatakan bahwa setiap penambahan sulfur akan menambah kekuatan tekan SPC dan setelah mendapatkan kekuatan yang optimal, kekuatan tekan SPC akan turun dikarenakan sulfur yang dimodifikasi telah mencapai titik jenuhnya karena tidak ada lagi agregat yang dapat diikat sehingga sulfur akan memadat menjadi kristal sulfur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *Sulphur polymer concrete* (SPC) dapat digunakan untuk pengelolaan limbah B3 berupa limbah *sandblast* yang mengandung logam berat Cu dan Cr

dengan metode solidifikasi. Hal ini dibuktikan dengan hasil kuat tekan empat variasi yakni A1, A2, A3, dan A4 sudah memenuhi nilai kuat tekan minimum untuk pelaksanaan solidifikasi limbah B3 menurut Permen LHK No. 6 Tahun 2021, tetapi terdapat variasi yang tidak memenuhi terlalu banyak komposisi sulfur sehingga sulfur tidak dapat lagi mengikat *sandblasting* yang berperan sebagai filler. Benda uji dengan variasi terbaik terdapat pada variasi A3 yaitu dengan komposisi 136,75 gram *sandblast*, 61,95 gram sulfur, dan 4,97 gram bitumen emulsifier

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Mohsen O. Mohamed., & Maisa El Gamal. (2024). *A Novel Polymerized Sulfur Concrete for Underground Hydrogen Storage in Linked Rock Caverns*
- Cahyono Luqman. dkk. (2024). *Sustainable Material Melalui Solidifikasi – Stabilisasi Limbah Sandblast Menjadi Beton Forosemen*.
- Fediuk, Roman dkk. (2020). *A Critical Review on the Propeties and Applications of Sulfur – Based Concrete*.
- Kurniawan, W. D., & Periyanto, P. (2019). Proses *Sandblasting* dan Coating Pada Kapal di PT. Dok Perkapalan Surabaya. *Otopro*, 13 (2), 44. <https://doi.org/10.26740/otopro.v13n2.p44-53>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. Nomor 101 TAHUN 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).
- Romadhon, Eri S., & Achmad Hanif. (2022). *Analysis of Compressive Strength of Sulfur Concrete*
- Triyanti, A. R. (2018). Studi Pemanfaatan *Fly Ash* dan Limbah *Sandblasting (Silica Fume)* pada Binder Geopolimer. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.