

ANALISIS KADAR UNSUR LOGAM PADA RESIDU PADAT HASIL PROSES PIROLISIS (*CHAR*) LIMBAH PADAT MEDIS DENGAN JARUM SUNTIK MENGGUNAKAN METODE UJI X-RAY FLUORESCENCE (XRF)

OLIVIA ZAHRA PUJIASTUTI¹, MILA DIRGAWATI¹, NOVI FITRIA²

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jalan PHH Mustafa No.23, Kota Bandung 40124, Indonesia
2. Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
Email : oliviaazahra1015@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan hasil analisis XRF, residu padat dari proses pirolisis limbah medis jarum suntik diketahui masih mengandung beberapa unsur logam dan mineral anorganik, dengan konsentrasi tertinggi adalah kalsium (Ca) sebesar 53.186,6 ppm, diikuti titanium (Ti) sebesar 1.717,6 ppm, kalium (K) sebesar 863 ppm, serta unsur jejak zirkonium (Zr), stronsium (Sr), dan skandium (Sc) dalam jumlah yang lebih kecil. Kandungan kalsium yang dominan berpotensi memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan mortar, sedangkan titanium dapat meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh eksternal seperti cahaya UV. Meskipun demikian, keberadaan unsur-unsur tersebut juga perlu diperhatikan dari sisi potensi pelepasan ke lingkungan melalui uji kelarutan, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan substitusi mortar harus melalui evaluasi lebih lanjut. Dengan demikian, residu pirolisis limbah medis jarum suntik memiliki potensi ganda, yakni sebagai sumber risiko pencemar jika tidak dikelola dengan tepat, namun juga sebagai bahan alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi apabila dimanfaatkan secara terkontrol dan aman.

Kata kunci: Limbah medis; Pirolisis; Residu padat; X-Ray Fluorescence (XRF); Logam berat; Mortar; Bahan substitusi.

1. PENDAHULUAN

Limbah medis merupakan salah satu jenis limbah berbahaya yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan tingginya penggunaan alat kesehatan sekali pakai di rumah sakit maupun fasilitas kesehatan. Salah satu contohnya adalah jarum suntik, yang umumnya terbuat dari plastik polipropilena dengan bagian logam berupa jarum. Limbah

ini tidak hanya menimbulkan risiko infeksi, tetapi juga mengandung komponen yang sulit terurai secara alami sehingga berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (WHO, 2018). Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengolah limbah medis, salah satunya adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal yang berlangsung pada suhu tinggi dalam kondisi minim atau tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan tiga fraksi, yaitu gas, cairan, dan residu padat berupa char atau abu (Basu, 2010). Residu padat yang dihasilkan masih menyimpan unsur anorganik maupun logam, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui potensi bahayanya maupun kemungkinan pemanfaatannya. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam material padat adalah X-Ray Fluorescence (XRF). Teknik ini bekerja dengan memanfaatkan interaksi sinar-X dengan atom, sehingga setiap unsur akan memancarkan spektrum karakteristik yang dapat digunakan untuk identifikasi. XRF dianggap efektif karena mampu menganalisis unsur dengan cepat, non-destruktif, dan memiliki sensitivitas yang cukup tinggi. Dalam konteks limbah medis, penggunaan XRF pada residu hasil pirolisis jarum suntik menjadi penting untuk mengetahui keberadaan unsur dominan seperti Ca (53.186,6 ppm) dan Ti (1.717,6 ppm), serta unsur lain yang terdeteksi seperti K (863 ppm), Zr (77,01 ppm), Sr (43,71 ppm), dan Sc (74,8 ppm). Kandungan unsur-unsur ini tidak hanya menggambarkan potensi risiko lingkungan apabila logam-logam tersebut terlepas ke sekitar, tetapi juga dapat menunjukkan peluang pemanfaatan residu dalam bidang konstruksi.

2. METODOLOGI

Residu padat hasil pirolisis limbah medis jarum suntik terlebih dahulu dipersiapkan sebelum dianalisis menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Tahapan awal dilakukan dengan mengeringkan residu untuk menghilangkan sisa kadar air, kemudian digerus hingga menjadi serbuk halus dan diayak agar homogen. Serbuk yang diperoleh selanjutnya dipadatkan menjadi pelet menggunakan *pellet press* dengan tekanan tertentu sehingga memiliki permukaan rata. Persiapan ini diperlukan agar sampel lebih representatif saat ditembakkan sinar-X dan mampu menghasilkan data yang stabil serta dapat dibandingkan dengan standar.

Prinsip kerja XRF didasarkan pada interaksi sinar-X dengan atom dalam sampel. Ketika sinar-X mengenai residu, elektron pada kulit dalam atom tereksitasi dan terlepas, sehingga menimbulkan kekosongan yang segera digantikan oleh elektron dari kulit luar. Perpindahan elektron ini menghasilkan sinar-X sekunder dengan energi yang khas bagi setiap unsur. Detektor XRF kemudian menangkap spektrum fluoresensi ini dan mengidentifikasi unsur-unsur yang ada beserta konsentrasinya.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi X-Ray Fluorescence (XRF) dengan tipe *Therm Scientific Niton XL3t 500 Analyzers* sebagai instrumen utama untuk analisis unsur.



Gambar 1. Rangkaian Alat Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Bahan utama yang digunakan adalah residu padat hasil pirolisis limbah medis jarum suntik. Residu tersebut diperoleh dari proses pirolisis pada suhu tinggi dalam kondisi minim oksigen, kemudian didinginkan hingga berbentuk padatan.



Gambar 2. Residu Padat Hasil Pirolisis (*Char*)

2.2 Langkah Pengujian XRF

1. Aktifkan instrumen dan tentukan metode analisis yang sesuai dengan karakteristik sampel.
2. Letakkan sampel pada posisi yang sejajar dengan detektor XRF.
3. Atur pancaran sinar-X dari alat menuju sampel dengan jarak serta sudut yang tepat.
4. Jalankan proses pengukuran dengan menekan tombol analisis pada perangkat.
5. Tunggu hingga proses analisis selesai dan hasil pengukuran ditampilkan oleh instrumen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian XRF pada residu bertujuan untuk mengetahui unsur kadar logam berat yang terkandung pada residu pirolisis limbah padatan medis dengan jarum suntik. Dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Analisis Logam Berat Pada Residu

Parameter (ppm)					
Zr	Sr	Ti	Sc	Ca	K
77,01	43,71	1717,6	74,8	53186,6	863

Berdasarkan hasil analisis XRF pada residu pirolisis limbah medis jarum suntik **Tabel 1.** dapat dijelaskan bahwa residu masih mengandung sejumlah unsur logam dengan konsentrasi yang bervariasi. Unsur yang paling dominan adalah kalsium (Ca) dengan konsentrasi mencapai 53.186,6 ppm, yang jauh lebih tinggi dibandingkan unsur lain. Kandungan kalsium yang sangat besar ini menunjukkan bahwa residu memiliki potensi sebagai material dengan sifat menyerupai bahan mineral, karena Ca umumnya berperan penting dalam pembentukan senyawa kalsium oksida atau kalsium karbonat yang dapat meningkatkan sifat mekanik bila diaplikasikan ke dalam bahan bangunan. Kehadiran kalsium dalam jumlah signifikan juga dapat berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tekan serta memperbaiki ikatan antar partikel dalam material konstruksi, namun di sisi lain juga perlu dikaji potensi kelarutannya agar tidak menimbulkan leaching logam ke lingkungan.

Selain kalsium, kandungan titanium (Ti) sebesar 1.717,6 ppm juga cukup tinggi. Titanium biasanya hadir dalam bentuk *titanium dioksida* (TiO_2) yang digunakan sebagai pigmen putih dan aditif pada plastik medis. Unsur ini dapat memengaruhi warna, stabilitas kimia, dan ketahanan material terhadap sinar UV. Dalam konteks mortar, keberadaan TiO_2 dapat memberikan keuntungan berupa peningkatan ketahanan terhadap degradasi fotokimia serta berpotensi mendukung sifat self-cleaning pada permukaan material.

Kandungan kalium (K) sebesar 863 ppm menunjukkan adanya unsur alkali yang dapat berperan dalam reaksi kimia semen, khususnya memengaruhi proses hidrasi dan potensi terjadinya reaksi alkali-silika. Meskipun konsentrasinya tidak terlalu besar dibandingkan kalsium, keberadaan kalium tetap perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi durabilitas mortar dalam jangka panjang.

Sementara itu, unsur lain seperti zirkonium (Zr = 77,01 ppm), stronsium (Sr = 43,71 ppm), dan skandium (Sc = 74,8 ppm) hadir dalam jumlah yang relatif kecil. Unsur-unsur ini umumnya berasal dari pengotor atau trace elements yang ikut terbawa selama proses pirolisis. Stronsium misalnya, memiliki sifat kimia yang mirip dengan kalsium sehingga dapat menggantikan posisinya dalam struktur mineral, meskipun dalam jumlah kecil. Zirkonium diketahui memiliki stabilitas termal yang baik, sehingga walaupun kadarnya rendah, kehadirannya dapat sedikit meningkatkan ketahanan residu terhadap suhu tinggi. Skandium sendiri lebih jarang ditemukan, namun dapat muncul sebagai elemen minor yang terbawa dari bahan aditif plastik medis. Secara keseluruhan, hasil analisis XRF ini mengindikasikan bahwa residu pirolisis limbah medis jarum suntik bukan hanya tersusun atas karbon sisa dekomposisi polimer, tetapi juga mengandung unsur logam dengan konsentrasi signifikan, terutama Ca dan Ti. Kandungan unsur tersebut dapat menjadi potensi positif jika dimanfaatkan sebagai substitusi bahan pada mortar, karena dapat memperkuat struktur material dan memberikan sifat tambahan tertentu. Namun, penting juga dilakukan evaluasi lanjutan melalui uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) untuk memastikan bahwa logam-logam tersebut tidak mudah terlarut dan mencemari lingkungan. Dengan demikian, pemanfaatan residu ini dapat memberikan nilai tambah dalam aspek keberlanjutan, baik dari segi

pengurangan limbah medis maupun dari sisi pemanfaatannya sebagai material konstruksi yang lebih ramah lingkungan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis XRF pada residu padat pirolisis limbah medis jarum suntik, diketahui bahwa residu masih mengandung unsur anorganik dengan konsentrasi yang cukup signifikan. Unsur dominan yang terdeteksi adalah kalsium (Ca) sebesar 53.186,6 ppm, diikuti oleh titanium (Ti) sebesar 1.717,6 ppm, kalium (K) sebesar 863 ppm, serta unsur jejak zirkonium (Zr), stronsium (Sr), dan skandium (Sc). Di sisi lain, keberadaan unsur logam tersebut juga perlu mendapat perhatian dari aspek lingkungan, karena terdapat kemungkinan terjadinya pelepasan ke lingkungan apabila tidak dikelola dengan tepat. Oleh karena itu, uji lanjutan seperti TCLP diperlukan untuk menilai tingkat kelarutan logam dan potensi bahayanya. Secara keseluruhan, residu pirolisis limbah medis jarum suntik memiliki potensi ganda, yakni sebagai risiko pencemar bila dibiarkan tanpa pengolahan, namun juga berpeluang besar dimanfaatkan sebagai bahan substitusi ramah lingkungan dalam konstruksi, khususnya sebagai campuran mortar ataupun beton, jika digunakan secara terkontrol dan aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Ibu Mila Dirgawati, S.T.,M.T.,PhD. dan Ibu Dr. Novi Fitria, S.Si.,M.T. selaku pembimbing yang sudah meluangkan waktu dan tenaganya. Serta pihak BRIN yang sudah mengizinkan melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Basu, P. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: Practical design and theory*. Burlington: Academic Press.
World Health Organization. (2018). *Safe management of wastes from health-care activities* (2nd ed.). World Health Organization.