

PENTINGNYA IDENTIFIKASI UNSUR PADA FOSIL UNTUK INVESTIGASI TINDAK PIDANA PADA CAGAR BUDAYA DI SITUS PRASEJARAH

THE IMPORTANCE OF ELEMENTS IDENTIFICATION ON FOSSIL FOR INVESTIGATIONS
OF CRIMINAL ACTS IN CULTURAL HERITAGE IN PREHISTORIC SITES

Mohammad Wahyu Ristiawan¹, Marlia Yulianti Rosyidah¹, Ryan Mahardika²

¹Indonesian Heritage Agency, Direktorat Jenderal Kebudayaan, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Indonesia

²Kejaksaan Republik Indonesia, Indonesia

ristiawanwahyu@gmail.com; ummudaffadaffi@gmail.com; ryanmahardika@gmail.com

Abstrak. Indonesia memiliki banyak situs prasejarah yang kaya dengan sumber daya arkeologis untuk mengungkap peradaban tertua di Nusantara. Situs prasejarah tertua di Indonesia diperkirakan hadir sejak 1,5 juta - 800 ribu tahun yang lalu seperti Situs Sangiran, Bumiayu, Semedo, Sambungmacan, Patiayam, dan Trinil. Pelestarian situs-situs prasejarah tersebut menemui tantangan dalam melindungi benda-benda arkeologis temuan dari situs-situs tersebut yaitu berupa fenomena perbanyak atau duplikasi dari Cagar Budaya (CB) dan Objek yang Diduga Benda Cagar Budaya (ODCB) dilakukan secara ilegal. Kurangnya kesadaran dan lemahnya perlindungan hukum menjadi alasan maraknya kegiatan ilegal tersebut. Ketrampilan dalam pemalsuan Benda Cagar Budaya memerlukan metode investigasi yang lebih baik. Rosyidah dan Ristiawan (2022) telah memulai studi untuk mengembangkan metode membedakan fosil dan tulang dengan analisis material menggunakan alat Handle *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan hasil data pengujian menggunakan XRF diolah dengan metode statistik *Clustering* yang dilakukan pada sampel dari Situs Sangiran. Penelitian kali ini melakukan analisis unsur dengan membandingkan sampel dari Situs Sangiran, Patiayam dan Nganjuk. Metode yang digunakan adalah uji XRF dilanjutkan dengan analisis statistik *Clustering*. Hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada kemunculan unsur yang dominan pada sampel yang diperiksa.

Kata kunci: Identifikasi Unsur, Objek Diduga Cagar Budaya, Fosil, Investigasi Hukum.

Abstract. Indonesia has numerous prehistoric sites rich in archaeological resources that provide insights into the earliest civilizations in the archipelago. The oldest prehistoric sites in Indonesia are estimated to have existed between 1.5 million and 800 thousand years ago, such as the Sangiran, Bumiayu, Semedo, Sambungmacan, Patiayam, and Trinil sites. The preservation of these prehistoric sites faces challenges, particularly in protecting the archaeological artifacts found at these locations. One of the main issues is the illegal replication or duplication of Cultural Heritage objects and Objects Suspected to be Cultural Heritage. The widespread occurrence of such illegal activities is mainly due to a lack of public awareness and weak legal protection. The increasing skill in forging cultural heritage artifacts calls for improved investigative methods. Rosyidah and Ristiawan (2022) initiated a study to develop a method for distinguishing fossils from bones through material analysis using a Handheld X-Ray Fluorescence (XRF) device. The data obtained from XRF testing were processed using clustering statistical methods on samples from the Sangiran site. The present study conducts an elemental analysis by comparing samples from the Sangiran, Patiayam, and Nganjuk sites. The method used involves XRF testing followed by cluster statistical analysis. The results show notable differences in the dominant elements present in the analyzed samples.

Keywords: Element Identification, Objects Suspected to Be Cultural Heritage, Fossils, Legal Investigation

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Cagar budaya memiliki arti penting bagi kepentingan kehidupan berbangsa serta merupakan suatu wujud bentuk kekayaan budaya dari bangsa. Hal ini karena cagar budaya merupakan bentuk dari hasil pemikiran dan perilaku kehidupan manusia yang memiliki arti penting bagi pemahaman serta pengembangan sejarah bangsa, ilmu pengetahuan, dan kebudayaan dalam kehidupan bermasyarakat berbangsa dan bernegara. Indonesia memiliki banyak situs prasejarah yang kaya dengan sumber daya arkeologis untuk mengungkap kehidupan manusia di nusantara jauh sebelum masa sekarang. Situs prasejarah tertua di Nusantara diperkirakan hadir sejak 1,5 juta - 800 ribu tahun yang lalu seperti Situs Sangiran, Bumiayu, Semedo, Sambungmacan, Patiayam, Trinil. Manusia pendukung budaya paleolitik yang tertua tersebut adalah *Homo erectus* dengan membawa budaya berupa alat batu *Acheulean*. Situs Prasejarah yang lebih muda yang berusia hingga kisaran 3.800 tahun yang lalu dimana manusia pendukungnya sudah termasuk dalam manusia modern atau *Homo sapiens* diantaranya adalah Situs Hoabinian di Aceh, Situs Gua Harimau di Sumatera Selatan, Situs Goa Song Terus di Pacitan, Jawa Timur. Situs prasejarah Preneolitik di Sulawesi seperti Leang-Leang, Minanga Sipako, dan Situs di Nusa Tenggara yang dihuni oleh manusia kerdil *Homo floresiensis* yaitu Liang Bua. Penelitian untuk mengungkap budaya prasejarah sangat mengandalkan temuan arkeologis berupa fosil yang masih *insitu* dengan konteks lapisan tanah dimana dia terendapkan selama sekitar tahun tersebut.

Pelestarian cagar budaya memiliki beberapa tantangan dalam pelaksanaanya. Pelestarian cagar budaya memiliki tujuan dalam rangka melestarikan warisan budaya bangsa dan warisan umat manusia; meningkatkan harkat dan martabat bangsa melalui cagar budaya; memperkuat kepribadian bangsa; meningkatkan kesejahteraan rakyat; serta untuk mempromosikan warisan budaya bangsa kepada masyarakat internasional. Keberadaan dari Benda cagar budaya merupakan perwujudan dari hasil kekayaan kultural yang mengandung nilai-nilai kearifan budaya yang penting sebagai dasar pembangunan kepribadian, pembentukan jati diri, serta menjadi benteng ketahanan sosial budaya masyarakat, sehingga upaya untuk menjaga kelestariannya menjadi tanggung jawab bersama pada seluruh elemen masyarakat dan penegak hukum. Benda cagar budaya peninggalan prasejarah juga merupakan suatu wujud bentuk kekayaan budaya dari bangsa, yang memiliki *sifat rapuh, unik, langka, terbatas, dan tidak terbarui*. Atas dasar tersebut menjadikan banyak dilakukannya replikasi/perbanyakannya Objek yang Diduga Benda Cagar Budaya (ODCB) yang dalam kajian ini berfokus pada peninggalan prasejarah berupa fosil palsu yang dilakukan oleh oknum yang tidak bertanggungjawab guna mencari keuntungan pribadi.

Fenomena perbanyak atau duplikasi dari cagar budaya dan Objek (CB) yang Diduga Benda Cagar Budaya (ODCB) dilakukan secara ilegal. Hasil duplikasi CB dan ODCB yang merupakan hasil produksi baru/palsu menjadi sebuah bisnis ilegal di pasar gelap yang potensial di tengah tingginya minat terhadap benda cagar budaya yang asli. ODCB Fosil bernilai tinggi karena dari sisi kelangkaan dan nilai sejarahnya, menyebabkan peredaran benda tersebut dipasaran seperti komoditas lainnya, memberikan kesempatan bagi orang yang tidak bertanggung-jawab (pelaku) untuk melakukan upaya memperkaya diri mereka secara ilegal. Tindakan pemalsuan ODCB ini merupakan salah satu upaya ilegal dengan menyajikan suatu barang yang oleh pelaku dapat menjadi alat tindak pidana penipuan jika itu telah terjadi transaksi. Pada dasarnya kewajiban seseorang dalam transaksi yaitu untuk berlaku adil kepada pembeli dan tidak boleh menipu dengan kebohongan, dalam hal tersebut mencakup perbuatan untuk menyebutkan sesuatu kondisi yang dapat mempengaruhi keputusan dari pembeli. Tindakan ini berarti bahwa dengan tidak menyebutkan sesuatu tentang keaslian atau kondisi yang sebenarnya yang relevan mungkin merupakan suatu pelanggaran, yang dapat mencakup transaksi ODCB terlepas dari apa yang dikatakan oleh pelaku. Salah satu kunci dari berbagai persoalan pelestarian cagar budaya tersebut adalah masih kurangnya kesadaran hukum dan belum efektifnya penegakan hukum tindak pidana cagar budaya di Indonesia, termasuk upaya duplikasi/pemalsuan benda cagar budaya. Dihadapkan tantangan guna pembuktian persidangan dalam rangka penegakan hukumnya, dalam tahap penyelidikan dan penyidikan tindak pidana cagar budaya yang semakin canggih dan semakin sulit untuk dianalisis dengan kasat mata, seperti dalam tindak pidana pemalsuan fosil, sehingga memerlukan suatu metode atau teknologi dalam pengkajian objek ODCB yang diduga hasil pemalsuan.

Studi awal yang sudah dilakukan untuk mengembangkan metode membedakan fosil dan tulang dengan analisis material menggunakan alat Handle *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan hasil data pengujian menggunakan XRF diolah dengan metode statistik *Clustering*, penelitian tersebut dilakukan di Situs Sangiran. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pengelompokan jenis tulang dan fosil serta karakteristik pembeda antara fosil dan tulang berdasarkan analisis komposisi unsur kimia pada sampel. Unsur penentu Kelompok fosil yaitu MgO, Fe, Al2O3, SiO2, Y, La, Co dan penentu non fosil yaitu Ca, P, S, dan Zn (Rosyidah dan Ristiawan, 2022). Hasil penelitian

tersebut ditindaklanjuti dengan melakukan penelitian yang lebih luas ke situs-situs prasejarah lain seperti Sangiran, Patiayam (Kudus), dan Nganjuk.

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana konsep pendekatan analisis unsur dengan XRF dan statistik untuk mendukung penyediaan data keaslian koleksi fosil?
- b. Bagaimana hasil analisis xrf untuk fosil hasil temuan di Situs Sangiran, Nganjuk, dan Patiayam?
- c. Bagaimana urgensi identifikasi unsur fosil dalam penegakan hukum pada tindak pidana cagar budaya?

1.3 Tujuan

- a. Menyajikan konsep pendekatan analisis unsur dengan XRF dan statistik untuk mendukung penyediaan data keaslian koleksi fosil
- b. Mengetahui metode penggunaan identifikasi unsur dengan XRF untuk karakterisasi fosil hasil temuan di Situs Sangiran, Nganjuk, dan Patiayam
- c. Mengetahui urgensi identifikasi unsur pada fosil dalam penegakan hukum pada tindak pidana cagar budaya.

1.4 Teori

a. Analisis hasil uji XRF menggunakan metode statistik *Clustering* dan penerapannya pada analisis ODCB/CB.

XRF (*X-Ray Fluorescence*) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan sebagai metode pengujian komposisi unsur kimia pada sampel, yang menungkinkan proses analisis yang cepat dan murah (Tycott, 2021). XRF bersifat tidak merusak bendanya (non-destruktif) sehingga aman digunakan untuk menguji sampel fosil yang merupakan cagar budaya. Saat ini, berbagai metode analisis kimia dan struktur digunakan untuk menganalisis benda cagar budaya. Salah satunya adalah teknik analisis yang dikenal sebagai analisis *X-ray fluorescence* (XRF) (Trojek dkk, 2023). Analisis XRF dapat digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dan konsentrasi unsur unsur material suatu sampel. Sejak 2010 hasil pengujian menggunakan XRF banyak digunakan peneliti cagar budaya di Indonesia sebagai dasar penentuan tindakan konservasi dan belum banyak penelitian yang memanfaatkan hasil uji XRF sebagai bahan investigasi tindak pidana pada cagar budaya. Tahun 2021 Tycott dkk melakukan penelitian analisis persebaran perdagangan batu obsidian pada masa prasejarah di wilayah laut mediterania, dengan jumlah sampel yang banyak Tycott dkk menggunakan bantuan analisis menggunakan statistik untuk memudahkan pencapaian hasil analisis yang maksimal. Hasil uji XRF sulit dilakukan analisis secara langsung dikarenakan unsur yang muncul banyak terutama jika diaplikasikan ke sampel berupa fosil. Metode *Clustering* adalah suatu metode analisis data untuk memecahkan masalah pengelompokan data. Metode *clustering* terdiri dari 2 metode yaitu K-Means dengan *Hierarchical Clustering K-Means* mempunyai kemampuan mengelompokkan data dalam jumlah yang cukup besar dengan waktu komputasi yang relatif cepat dan efisien. Akan tetapi, hasil clustering dengan K-Means sangat bergantung pada penentuan jumlah cluster. Hasil Metode *Hierarchical Clustering* dapat digunakan untuk mengatasi masalah penentuan jumlah *cluster* pada *K-Means*. Kombinasi antara metode *Hierarchical Clustering* dan *K-Means Clustering* ini telah diuji oleh Alfina (2010) dan terbukti bahwa kombinasi ini lebih baik dibandingkan *K-Means*.

b. Dasar Hukum Pelestarian Cagar Budaya

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya bahwa cagar budaya adalah warisan budaya bersifat kebendaan berupa benda cagar budaya, bangunan cagar budaya, struktur cagar budaya, situs cagar budaya, dan kawasan cagar budaya di darat dan/atau di air yang perlu dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan melalui proses penetapan. Sedangkan pengertian benda cagar budaya adalah benda alam dan/atau benda buatan manusia, baik bergerak maupun tidak bergerak, berupa kesatuan atau kelompok, atau bagian-bagiannya, atau sisa-sisanya yang memiliki hubungan erat dengan kebudayaan dan sejarah perkembangan manusia. Cagar budaya memiliki kriteria sebagai berikut: berusia 50 (lima puluh) tahun atau lebih; mewakili masa

gaya paling singkat berusia 50 (lima puluh) tahun; memiliki arti khusus bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan; dan memiliki nilai budaya bagi penguatan kepribadian bangsa.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Register Nasional dan Pelestarian Cagar Budaya memuat tentang Objek yang Diduga Cagar Budaya yang selanjutnya disingkat ODCB yang meliputi benda, bangunan, struktur, dan/atau lokasi yang diduga memenuhi kriteria sebagai cagar budaya. Benda cagar budaya atau benda peninggalan dari masa terdahulu yang memiliki nilai sejarah dan memiliki hubungan yang erat dengan perkembangan kehidupan manusia. Benda cagar budaya memberikan representasi dari peradaban manusia. Tentu hal ini menjadikan benda cagar budaya menjadi suatu hal yang sangat berharga secara materiil karena kelangkaannya dan berharga secara materiil karena nilai historisnya

Akan tetapi, karena banyaknya pihak yang menaruh minat akan nilai historis dari benda temuan atau benda cagar budaya khususnya berupa fosil, maka muncul beberapa oknum yang tidak bertanggung jawab yang mengambil keuntungan dari keadaan ini. Mereka membuat suatu karya yang kemudian diolah sedemikian rupa agar mampu menyerupai benda temuan atau benda cagar budaya prasejarah yang asli dan kemudian menjualnya melalui media online atau mendaftarkan benda tersebut sebagai ODCB guna mendapat keuntungan. Pemalsuan benda cagar budaya adalah upaya membuat benda benda cagar budaya dari hasil kerajinan baru (reproduksi) kemudian diolah dengan sedemikian rupa sehingga terlihat menjadi sangat tua seperti benda cagar budaya asli hasil temuan. Dalam kegiatan perbanyakannya Benda Cagar Budaya palsu, khususnya dalam hal pemalsuan objek prasejarah palsu terdapat dua perbuatan pidana yang berbeda. Dalam proses perbanyakannya benda cagar budaya palsu terdapat kegiatan yang dalam pengaturan Undang-Undang Nomor 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya diatur sebagai berikut: Pemanfaatan dengan cara perbanyakannya cagar budaya yang tercatat sebagai peringkat nasional, peringkat provinsi, peringkat kabupaten/kota hanya dapat dilakukan atas izin menteri, gubernur, atau bupati/wali kota sesuai dengan tingkatannya.

Terdapat ancaman pidana bagi yang melakukan perbanyakannya cagar budaya tanpa memiliki izin, yaitu: Setiap orang yang dengan sengaja memanfaatkan cagar budaya dengan cara perbanyakannya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 93 ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah). Sedangkan apabila benda cagar budaya tersebut dilakukan guna untuk dijual secara komersial untuk kepentingan bisnis mencari keuntungan pribadi maka telah termasuk melanggar tindak pidana penipuan, yang dalam bab XXV KUHP tindak pidana penipuan dikenal dengan istilah *bedrog* diatur dalam pasal 378 KUHP. Ketentuan dalam pasal 378 KUHP berbunyi: Barang siapa yang bermaksud menguntungkan diri sendiri atau orang lain secara melawan hukum dengan memakai nama palsu atau martabat palsu, dengan tipu muslihat, atau rangkaian kebohongan, menggerakkan orang lain untuk menyerahkan sesuatu barang kepadanya, atau supaya memberi hutang maupun menghapus piutang, diancam, karena penipuan, dengan pidana penjara paling lama empat tahun.

2 Metode

2.1 Preparasi Sampel, Uji XRF dan Analisis Statistik *K-Means Clustering*

Sampel yang digunakan terdiri dari 3 Sampel yaitu:

Sampel 1 Patiayam



Sampel 2 Sangiran



Sampel 3 Nganjuk



Gambar 1. Femur Sinistra Hominidae

Gambar 2. Fr. Diafisis Femur Hominidae

Gambar 3. Fr. Diafisis Femur Sinistra Hominidae

Gambar 1, 2, dan 3 menunjukkan sampel yang digunakan dari 3 koleksi dari jenis anatomi dan takson famili yang sama yaitu *femur Hominidae*. Ketiga koleksi berasal dari tiga situs prasejarah yang berbeda yaitu Patiayam,

Sangiran dan Nganjuk. Untuk melakukan analisis masing masing sampel dilakukan Uji XRF menggunakan *Handle XRF Bruker Tracer 5g* dengan ukuran *collimator* 8 dan 3 mm dan sumber radiasi 6-50 kv. Proses pemindaian 90 detik. Analisis data dilakukan dengan normalisasi hasil uji XRF yang berupa data numerik prosentase kandungan unsur kimia kemudian diolah menggunakan software SPSS IBM 19 dengan metode *clustering*.

2.2 Aspek Hukum

Metode dalam penelitian aspek hukum dalam kajian ini menggunakan pendekatan pendekatan secara normatif yang mengkaji secara perundang-undangan dimana untuk mendapatkan nilai terhadap suatu peristiwa hukum di masyarakat didasarkan pada analisis ketentuan peraturan perundang-undangan.

3 Hasil Penelitian

3.1 Analisis Identifikasi Unsur Fosil menggunakan Uji XRF dan dan Metode Statistik *K-Means Clustering*.

Hasil Uji XRF sampel Patiayam, Sangiran, dan Nganjuk menunjukkan tingkat persentase unsur kimia yang terkandung dalam permukaan sampel. Untuk memudahkan dalam pengolahan menggunakan metode *K-Means Clustering* dilakukan normalisasi data terlebih dahulu. Hasil normalisasi data sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji XRF sampel K1 dan K2 hasil olahan menggunakan metode normalisasi

Unsur (%)	NAMA SAMPEL								
	SGRN A1	SGRN A2	SGRN A3	NGJK A1	NGJK A2	NGJK A3	PTYM A1	PTYM A2	PTYM A3
SiO ₂	11.632	14.939	13.844	0	0	0	0	7.4101	5.690
Ca	17.621	11.568	15.928	25.945	33.8002	34.510	21.848	11.266	6.077
Al ₂ O ₃	4.0803	3.9428	4.3859	0.876	0.7145	1.1712	0.4055	1.8255	0.632
P	7.2747	4.2503	6.2733	11.557	14.787	14.875	11.133	5.6025	1.871
Fe	1.4885	2.995	3.5976	0.284	0.4885	0.3919	1.8252	3.9122	2.605
MgO	1.2828	1.3774	1.3351	0	1.2832	1.3195	0.8162	1.0823	1.218
K ₂ O	0.1659	0.2302	0.2862	0.0726	0.0793	0.0983	0.1127	0.3584	0.272
Ti	0.0604	0.0199	0.0835	0	0.0051	0.0051	0	0	0
Mn	0.6086	0.8719	0.7273	0.1586	0.2372	0.1874	0.4299	0.2919	0.2703
Sr	0.0673	0.056	0.0637	0.1128	0.1522	0.1449	0.1065	0.1082	0.0642
Zn	0.0084	0.0089	0.0109	0.0126	0.0141	0.0145	0.0141	0.0144	0.0107
Ni	0.0074	0.0081	0.0104	0.0007	0.0022	0.002	0.011	0.0085	0.0082
Cd	0	0	0	0.001	0	0.0013	0.0019	0.0011	0
Cu	0.0048	0.0045	0.0047	0.0017	0.0023	0.0019	0.0024	0.0026	0.0039
Zr	0	0	0.0025	0	0	0	0.0195	0.0036	0
Y	0.1055	0.1159	0.121	0	0.0004		0.1096	0.1491	0.0899
As	0.0028	0.0072	0.0035	0.0005	0.0017	0.0005	0.0012	0.0013	0.0024
Rb	0.0004	0.0007	0.0004	0.0004	0	0.0003	0.0006	0.0005	0.0008
Mo	0.0025	0.0037	0.0029	0.0021	0.0026	0.0023	0.004	0.0036	0.0038
Ce	0	0	0	0	0.0247	0.0295	0	0	0
Th	0	0	0	0	0	0.0007	0	0	0
Se	0	0.0002	0	0	0.0003	0.0002	0	0.0002	0

U	0.0093	0.0134	0.0132	0.0061	0.0059	0.0047	0.016	0.0114	0.0099
Pb	0.0013	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	0	0	0	0.0006	0.0004	0.0007	0	0	0
S	0.1051	0.0711	0.0921	0.3735	0.4556	0.4704	0.0429	0.0842	0
V	0.0237	0	0.0374	0	0	0	0.0289	0.0189	0.0116
Te	0.0001	0.0001	0	0	0	0	0	0.0001	0.0001
Sn	0.0079	0.0085	0.0072	0	0	0	0.0028	0	0
Ba	0.2174	0.2578	0.2668	0.0245	0.0137	0.0149	0.2175	0.4329	0.3607
La	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0.0018	0	0.0017	0	0	0	0	0
Sb	0	0.002	0	0	0	0	0.002	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0.4764	0.4315

Hasil normalisasi menunjukkan jumlah kandungan unsur kimia pada sampel menjadi 100%. Setelah diperoleh hasil normalisasi kemudian dilakukan pengolahan menggunakan *software IBM Statistics 19* dengan metode *K-Means clustering*. Sebelum dilakukan pengolahan data terlebih dahulu dilakukan penentuan jumlah *cluster*, jumlah *cluster* ditentukan yaitu sebanyak 3 *cluster*. Penentuan jumlah *cluster* tersebut didasarkan hasil analisis fosil berdasarkan informasi temuan sampel dan analisis identifikasi sampel. Pembagian *cluster* ditunjukkan oleh hasil olahan *K-Means Clustering* berupa *Cluster Membership* ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Cluster Membership

Kode sampel	Cluster	Distance
NGJK A1	3	4.709
NGJK A2	3	6.704
NGJK A3	3	7.649
PTY A1	3	9.912
PTY A2	2	4.511
PTY A3	2	4.511
SGRN A1	1	4.806
SGRN A2	1	5.457
SGRN A3	1	1.829

Temuan masing-masing situs memiliki karakteristik berbeda dilihat dari analisis menggunakan *K-Means Clustering*. Untuk menjelaskan lebih lanjut mengenai karakteristik masing-masing situs dilakukan analisis *Initial cluster center*, dan ANOVA. *Initial cluster center*, dan ANOVA menujukkan parameter-parameter yang mempengaruhi terbentuknya kelompok. Nilai dari *Initial cluster center* dan ANOVA ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Analisis *Initial Cluster Center* dan ANOVA sebagai faktor penanda *cluster*

Unsur	ANOVA	Initial Cluster Centers			Faktor Penanda cluster
		Cluster	1	2	
SiO ₂	.000	17.7346	8.227	.0000	1
Ca	.006	19.7978	11.4161	38.2101	3
Al ₂ O ₃	.000	5.4451	1.6177	1.0425	1
P	.003	7.8099	4.9194	17.2299	3
Fe	.029	3.5460	4.2901	.9841	2
K ₂ O	.003	.2994	.4151	.1194	2
Ti	.020	.0719	.0000	.0034	1
Mn	.003	.9688	.3700	.3334	1

Sr	.015	.0821	.1135	.1699	1
Zn	.019	.0124	.0165	.0182	3
Cu	.001	.0061	.0043	.0027	1
S	.000	.1177	.0000	.0000	1
Sn	.000	.0104	.0000	.0000	1
Ba	.000	.3256	.0000	.0000	1

Berdasarkan nilai yang ditunjukkan pada Tabel 3 apabila nilai ANOVA sig. < 0,05 maka unsur tersebut yang dapat mempengaruhi terbentuknya kelompok, sehingga unsur-unsur yang mempengaruhi terbentuknya kelompok yaitu SiO₂, Ca, Al₂O₃, P, Fe, K₂O, Ti, Mn, Sr, Zn, Cu, S, Sn, Ba. Nilai *initial cluster center* yang lebih tinggi pada masing-masing kelompok menentukan faktor tersebut menjadi penentu kelompok tersebut. Pada Tabel 4 terdapat beberapa unsur penentu Kelompok 1 (Sangiran) yaitu SiO₂, Ti, Mn, Sr, Cu, S, Sn, Ba, penentu kelompok 2 (Patiayan) yaitu Fe dan K₂O, dan penentu kelompok 3 (Nganjuk) yaitu Ca, P, dan Zn. Fosil PTYM A1 lebih dekat ke temuan Nganjuk kemungkinan disebabkan ketidak beradaan SiO₂. Hasil ini dapat menunjukkan unsur tertentu yang menjadi penanda asal fosil, sehingga dapat membantu dalam menguatkan informasi temuan fosil yang sudah lepas dari konteksnya untuk menghindari pemalsuan informasi asal fosil.

4 Diskusi

Uji XRF memiliki beberapa keunggulan bila diterapkan pada cagar budaya seperti tidak merusak sampel (*Non-destructive*), XRF tidak merusak sampel sehingga dapat digunakan untuk pengujian temuan arkeologi yang *in-situ* (Moioli dkk, 2000), dapat menganalisis sampel padat, bubuk, dan cairan, serta dapat menganalisis banyak unsur sekaligus, sehingga uji XRF dapat digunakan untuk menguji berbagai macam jenis cagar budaya terutama cagar budaya yang mengandung unsur anorganik (Janssens, 2000). Namun begitu, XRF memiliki beberapa kekurangan yaitu hasil uji tidak mampu mengetahui kandungan unsur 100% karena keterbatasan jumlah unsur yang dideteksi sehingga perlu pengolahan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Upaya penegakan hukum dalam tindak pidana pada cagar budaya memerlukan pendekatan yang berbeda dibanding tindak pidana umum lainnya. Hal ini dikarenakan Tindak Pidana pada cagar budaya penyelidikan dan penyidikan dilakukan oleh Penyidik Pegawai Negeri Sipil (PPNS) dibidang cagar budaya dan berkoordinasi dengan Penyidik Kepolisian. Alur dalam proses penegakkan hukum yang berlaku di Sistem Hukum Indonesia dimulai dari penyelidikan, selanjutnya ke tahap penyidikan, dan ketika telah ada tersangka yang dapat dimintai tanggung jawab maka selanjutnya akan diajukan kepersidangan oleh Jaksa Penuntut Umum. Proses penyidikan, menjadi kunci utama dalam terwujudnya pembuktian persidangan atas sangkaan pelanggaran hukum si pelaku. Dalam tindak pidana dalam cagar budaya, diperlukan penyidikan yang lengkap dan sempurna mengenai apakah yang disangkakan terhadap pelaku memang benar dilakukan. Jaksa Penuntut Umum berdasarkan bekal alat bukti yang diperoleh dalam tahap penyidikan akan membuktikan kebenaran di depan persidangan, oleh karena itu diperlukan bukti-bukti yang nyata kebenarannya dan memiliki dasar yang ilmiah, bukan hanya asumsi penyidik belaka.

Dokumen Hasil Uji XRF dapat digunakan oleh Penyidik sebagai Alat Bukti Surat, yang mana digunakan Jaksa sebagai data dukung/pembuktian kebenaran bahwa CB/ODCB tersebut memang dipalsukan oleh tersangka. Sejauh ini, pembuktian keaslian CB/ODCB hanya sebatas pada keterangan ahli, dan belum pernah ada dokumen tertulis/alat bukti surat yang dapat menyertai. Hal ini menjadi tantangan dalam penegakkan hukum atas pemalsuan CB/ODCB. Dengan penggunaan hasil uji XRF, menjadi terobosan alat bukti surat dikarenakan melalui identifikasi unsur dapat diketahui apakah unsur tersebut merupakan fosil atau bukan melalui unsur-unsur penanda spesifik yang diperlihatkan dari hasil uji XRF (Rosyidah dan Ristiawan, 2022). Melalui penelitian XRF juga dapat menjadi pijakan untuk menyediakan data unsur penanda fosil dari situs-situs tertentu, sehingga dapat menjadi dasar bagi penyidik untuk menguatkan bukti adanya pemalsuan fosil, terutama untuk pemalsuan data dan informasi asal fosil.

5 Penutup

Analisis data yang dilakukan dengan normalisasi hasil uji XRF yang berupa data numerik dari persentase kandungan unsur kimia kemudian diolah menggunakan software SPSS IBM 19 dengan metode *clustering* mampu menampilkan data identifikasi fosil di situs Sangiran, Nganjuk, dan Patiayam. Penggunaan XRF sebagai alat pendukung penelitian terhadap benda cagar budaya atau objek diduga cagar budaya yang menjadi objek dalam

tindak pidana cagar budaya menjadi salah satu terobosan untuk membantu proses penegakkan hukum tindak pidana cagar budaya, karena mampu memberikan hasil yang akurat sehingga dapat menjadi alat bukti dalam pembuktian perkara tindak pidana cagar budaya tersebut. Dengan penggunaan metode XRF ini, penilaian terhadap keaslian benda cagar budaya atau pemeriksaan terhadap objek yang diduga cagar budaya dapat dilakukan secara kuantitatif dan ilmiah, dengan tingkat keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan hanya pengamatan indra dari luar objek belaka. Tindak pidana cagar budaya khususnya pada perdagangan atau pemalsuan benda cagar budaya, memerlukan suatu alat bukti yang dapat membuktikan bahwa objek dalam tindak pidana ini memang benar seperti apa yang disangkakan. Teknologi untuk menguji dari Objek yang Diduga Cagar Budaya (ODCB) ini guna memastikan kebenaran sangkaan atas objek tindak pidana ini terutama dalam hal pemalsuan informasi asal temuan fosil.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis tidak memiliki konflik kepentingan yang relevan dengan isi artikel ini.

Daftar Pustaka

- Alfina, T., Santosa, B. and Barakbah, A.R. 2010. "Analisa Perbandingan Metode Hierarchical clustering, K-Means dan Gabungan Keduanya dalam Cluster Data". Jurnal Teknik ITS.1: 521-525
- Janssens K., Vittiglio G. 2000. "Use of Microscopic XRF for Non-destructive Analysis in Art and Archaeometry". *X-ray Spectrom.* 29: 73-91.
- Kitab Undang-Undang Hukum Pidana BAB XXV pasal 25.
- Marlia Y. R., M.Wahyu. R., (2022). "Membedakan Fosil dan Tulang dengan Analisis Material Menggunakan XRF dan Uji PCA". Jurnal Sangiran.
- Moioli P., Seccaroni C. 2000. "Analysis of art objects using a portable X-ray fluorescence spectrometer. X-ray Spectrom". Vol. 29: 48–52.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor I Tahun 2022 Tentang Register Nasional Dan Pelestarian Cagar Budaya
- Robert H. Tycott. 2021. "Non-Destructive pXRF on Prehistoric Obsidian Artifacts from the Central Mediterranean". Department of Anthropology, University of South Florida, Tampa, FL 33620, USA *Appl. Sci.* 11. (16): 1-19.
- Tomáš Trojek and Darina Trojková. 2023. "Uncertainty of Quantitative X-ray Fluorescence Micro-Analysis of Metallic Artifacts Caused by Their Curved Shapes". *Materials (Basel)*, 16 (3): 1-15
- Trojek dkk. 2023. "Depth of layers in historical materials measurable by X-ray fluorescence analysis". *Radiat. Phys. Chem.* Vol.155: 239-243.
- Undang-Undang Nomor 10 Tahun 2011 Tentang Cagar Budaya

Biografi Penulis

Mohammad Wahyu Ristiawan, lahir di Jepara, 21 Sepember 1995. Saat ini bertugas di Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi BLU Museum dan Cagar Budaya atau IHA (*Indonesian Heritage Agency*) sebagai Pamong Budaya Ahli Pertama dan konservator di unit Museum Islam Indonesia K.H. Hasyim Asy'ari. Meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) dari Universitas Diponegoro pada tahun 2017 Jurusan Fisika. Penulis telah menulis di beberapa jurnal ilmiah Internasional terindeks scopus Q3 *Journal of Physical Science* Penerbit Universiti Sains Malaysia dengan dengan judul "*Synthesis of Zinc Oxide Whiskers with Hydrothermal Method for Composite Absorbent Material of Microwave of ZnO/WCNT/Epoxy*". Pada tahun 2018, artikel pada Jurnal Sangiran dengan judul: "Membedakan Fosil dan Tulang dengan Analisis Material Menggunakan XRF dan Uji K-Means Clustering pada tahun 2021"

Marlia Yuliyanti Rosyidah lahir di Sragen, 30 Juli 1985 memperoleh gelar master arkeologi pada tahun 2018. Sejak 2010 bekerja di Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi tepatnya di Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran yang saat ini menjadi BLU Museum dan Cagar Budaya atau IHA (*Indonesian Heritage Agency*) sebagai Pamong Budaya Ahli Muda sekaligus kurator di Museum Manusia Purba Sangiran. Beberapa publikasi dan tulisan yang pernah dihasilkan adalah Thesis dengan judul Rekonstruksi Lingkungan Kala Plestosen Tengah di Jawa Berdasarkan Fosil Molar Bovidae dan Cervidae dari Sangiran pada tahun 2018, artikel pada Jurnal Sangiran dengan judul: "Membedakan Fosil dan Tulang dengan Analisis Material Menggunakan XRF dan Uji K-Means Clustering pada tahun 2021" dan prosiding seminar nasional Balai Arkeologi Bali dengan judul "*Iot (Internet Of Things) Untuk Efisiensi Dan Efektivitas Dalam Konservasi Benda Cagar Budaya*" Di Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran pada tahun 2021.

Ryan Mahardika, lahir di Sragen, 20 Agustus 1996. Berprofesi sebagai Jaksa yang saat ini menjabat sebagai Kepala Subseksi Penyidikan Kejaksaan Negeri Sragen dan sekaligus sebagai pemerhati Cagar Budaya dengan fokus pada pelestarian Cagar Budaya dan penegakan hukum dalam tindak pidana Cagar Budaya. Menempuh pendidikan Sarjana Hukum (S.H.) dari Universitas Islam Indonesia dan pendidikan Magister Hukum (M.H.) dari Universitas Gadjah Mada. Penulis telah melakukan penulisan karya ilmiah dan juga penelitian diantaranya dengan fokus pada tindak pidana berkaitan dengan Benda Cagar Budaya.

