

Identifikasi Kandungan Material Perekat pada Benteng Purba di Kawasan Aceh Besar Menggunakan XRF

Identification of Adhesive Material Substance in Ancient Fortress Located at Aceh Besar using XRF

Nurul Fitri, Elin Yusibani*, Evi Yufita
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unsyiah

Received September, 2016, Accepted November, 2016

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kandungan material perekat yang digunakan pada tiga benteng purba di kawasan Aceh Besar, yaitu Benteng Indrapatra (BIP), Benteng Inong Balee (BIB), dan Benteng Kuta Lubok (BKL). Analisa dilakukan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) dengan metode Fusion Beads. Hasil uji XRF menunjukkan bahwa ketiga benteng tersebut memiliki kandungan senyawa oksida yang sama, dengan persentase CaO sebanyak 46,16-51,37%, SiO₂ sebanyak 2,56-6,68%, MgO sebanyak 1,01-2,16%, Al₂O₃ sebanyak 0,73-1,18%, dan Fe₂O₃ sebanyak 0,53-0,70%. Senyawa-senyawa tersebut merupakan komposisi penyusun dari batu kapur jenis Kalsit. Hasil tersebut dibandingkan dengan material perekat yang digunakan saat ini (Semen) didapatkan memiliki komposisi yang berbeda. Semen mengandung komposisi oksida SiO₂ dan SO₃ yang lebih besar daripada material perekat pada benteng purba yaitu sebesar 18% dan 3% untuk sampel sebanyak 1 gr.

Preliminary study about adhesive material content in ancient fortress at Aceh Besar has been done. The fortress are Indrapatra, Inong Balee and Kuta Lubok. The sample is analyzed using X-Ray Fluorescence (XRF) with Fusion Beads method. The result of XRF shows that all of the fortress have the same oxide compound which is CaO, with percentage of (46,16-51,37)%, SiO₂ around (2,56-6,68)%, MgO around (1,01-2,16)%, Al₂O₃ around (0,73-1,18)%, and Fe₂O₃ around (0,53-0,70)%. The compounds are constituent of limestone of calcite. The results have been compared with the modern adhesive material (cement). It was found that cement has a different oxide composition with the adhesive material used in ancient fortress. Cement contains SiO₂ and SO₃ more than ancient adhesive material, the values are 18% and 3%, respectively, in one gram sample.

Keywords: Benteng purba, Aceh Besar, material perekat, X-Ray Fluorescence, batu kapur (CaCO₃)

Pendahuluan

Benteng merupakan bangunan tempat berlindung atau bertahan dari serangan musuh. Dalam ranah arkeologi, sejarah, dan pembangunan Aceh, bangunan benteng sangat penting untuk dikaji, bagaimana nenek moyang kita dapat bertahan dari segala serangan, bencana alam dan kemanusiaan. survivalitas masyarakat Aceh diharapkan tidak hanya dibuktikan dalam tulisan atau rekaman saja, tapi juga dari bukti fisik yang dapat diamati secara langsung. Oleh karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah restorasi dan penyelamatan artefak dan arsitektur bangunan benteng (Hermansyah dan Nasruddin. 2013). Salah satu langkah tersebut adalah dengan melakukan

identifikasi material perekat apa yang digunakan dalam pembuatan benteng purba sehingga dapat bertahan hingga saat ini. Sesuai standar *Deutsches Institut für Normung/German Institute for Standardization* (DIN EN 923), sebuah material perekat merupakan bahan non logam yang memiliki kemampuan untuk menggabungkan material-material oleh ikatan permukaan (adhesi) dan ikatan kohesi (Wu dkk., 2005). Batu kapur merupakan sebuah batuan sedimentasi yang tersusun dari sebagian besar senyawa kalsit (CaCO₃), yang biasanya diendapkan di lautan dangkal melalui aktivitas organisme (Plummer dan David. 2005). Pembakaran batu kapur (kalsinasi) akan menghasilkan kapur yang digunakan sebagai bahan

perekat dalam pembuatan bangunan. Proses kalsinasi merupakan proses pemanasan batu kapur untuk membebaskan CO₂ sehingga menghasilkan kapur tohor (CaO) (Khaira, 2011).

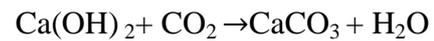
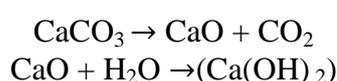
Kapur (CaO) adalah bahan pengikat hidrolisis (mampu bereaksi dengan air) yang dibuat dengan membakar batu kapur (CaCO₃) dalam tungku kapur pada suhu 1100°C. Kapur memiliki kemampuan sebagai perekat dan sifat kohesi sehingga dapat digunakan dalam pembuatan mortar dan plaster (Tugino, 2010). Kapur dapat digunakan sebagai material perekatan bangunan karena memiliki sifat dapat mengeras dengan cepat, bersifat plastis dan dapat membentuk ikatan yang baik dengan batuan yang akan direkatkan, selain itu juga mempunyai kekuatan yang baik sebagai mortal pada tembok (Brockmann dkk., 2008).

Tabel 1 Komposisi kimia dari semen Portland

Oksida	Fungsi	Komposisi (%)
CaO	Mengontrol kekuatan dan <i>soundness</i> (ketahanan material terhadap pelapukan)	60-65
SiO ₂	Menambah kekuatan. Jika kelebihan akan membuat <i>setting</i> lambat	17-25
Al ₂ O ₃	Dapat membuat <i>setting</i> cepat, namun dapat mengurangi kekuatan jika komposisi berlebih.	3-8
Fe ₂ O ₃	Memberikan warna dan membantu pembakaran dari bahan-bahan yang berbeda	0,5-6
MgO	Memberikan warna dan kekuatan. Jika komposisi berlebih akan menyebabkan retak dalam mortar dan beton serta tidak tahan terhadap pelapukan.	0,5-4
SO ₃	Membuat semen <i>soundness</i>	1-2
Na ₂ O+K ₂ O	Residu, dapat menyebabkan	0,5-1,3
TiO ₂	patah jika dalam komposisi	0,1-0,4
P ₂ O ₅	yang berlebih	0,1-0,2

(Sumber: Sagel, R., Kole, P., dan Gideon. H. 1997)

Penggunaan kapur sebagai perekat dalam bangunan meliputi sebuah siklus lengkap dari padatan kaku menjadi padatan kohesi lalu menjadi material plastik, kemudian kembali lagi menjadi padatan kaku yang memiliki kuat tekan yang sama dengan kapur asli, seperti digambarkan dalam reaksi di bawah (PUBI-1982).



Semen merupakan bahan ikat hidrolis yang digunakan dalam pembuatan beton. Hidrolis memiliki makna dapat bereaksi dengan air dan membentuk suatu batuan/batuan-semen yang kedap air (Wright, 2005). Tiga material utama dari semen hidrolis adalah kapur, silika, dan alumina. Sebagian semen juga mengandung sejumlah kecil oksida besi, magnesium, sulfur trioksida, dan alkali (Sagel dkk., 1997). Semen Portland merupakan jenis semen yang umum digunakan saat ini. Semen Portland pertama kali diproduksi oleh David Saylor di kota Coplay, Pennsylvania, Amerika Serikat pada tahun 1875 (Wright, 2005). Komposisi kimia dari semen Portland dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan komposisi bahan baku dalam semen Portland mempengaruhi sifat perekat yang dihasilkan sebagaimana pada Tabel 2 yang dibandingkan dengan sifat perekat murni dari kapur.

Tabel 2 Perbandingan perekat dari semen Portland dan kapur

Sifat	Semen Portland	Kapur
Warna	Abu-abu	Putih
Waktu pengikatan dengan air	±30 menit	Lebih lama
Waktu pengerasan dengan air	±12 menit	Lebih lama
Kekuatan	Kuat	Lemah
Efek penambahan air dengan quick lime	Panas lebih sedikit	Panas terlebih

(Sumber: Wright, G.R.H. 2005)

X-Ray Diffraction (XRF) adalah metode analisis untuk menentukan komposisi kimia semua jenis material. Material-material tersebut dapat berupa padatan, cairan, bubuk, filter, dan *beads*. Metode XRF cepat, akurat dan non-destructive (tidak merusak sampel), serta membutuhkan preparasi/persiapan sampel yang mudah (Duggal, 2008). *X-Ray Fluoresensi* merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan (Brouwer, 2010). Secara umum preparasi sampel menggunakan XRF dilakukan dengan dua metode yaitu metode pelet dan metode *fusion beads*. Metode *Fusion Beads* memiliki keakuratan yang lebih tinggi dari metode Pelet. Metode *fusion beads*

adalah metode analisis terdepan yang memiliki beberapa keuntungan dan dijadikan metode standar analisis internasional untuk material refraktori dan bijih besi. Beberapa keuntungan dari metode *Fusion Beads* yaitu mampu mengeliminasi efek mineralogi dan ukuran butir, mampu mengurangi efek komponen yang sama oleh efek dilusi, dan memungkinkan untuk dibuat sampel standar dari oksida sintetis. Aplikasi analisis XRF menggunakan metode fusion beads digunakan pada material bijih besi, batuan, debu vulkanik, semen, eco-cement, alumina, kaca, kaolin, dan bata tahan api.

Metodologi

Sampel benteng purba diambil dari tiga tempat di kawasan Aceh Besar yaitu sampel BIP dari desa Ladong, sampel BIB dan BKL dari desa Lamreh. Sampel semen didapatkan dari laboratorium PT Semen Andalas Indonesia (SAI) Lhoknga, Kabupaten Aceh Besar. Sampel benteng dipecah menggunakan palu menjadi bongkahan-bongkahan kecil, lalu ditumbuk menggunakan mortar. Sampel yang telah ditumbuk diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel yang telah diayak dimasukkan ke dalam planetary ball mill untuk di milling dengan kecepatan 350 rpm selama 30 menit, untuk menghasilkan serbuk yang halus dan homogen. Serbuk tersebut kemudian dipreparasi lebih lanjut untuk menghasilkan sampel dalam bentuk *beads yang akan dianalisis menggunakan alat XRF dengan metode Fusion Beads*. Serbuk benteng sebanyak dua gram dikalsinasi menggunakan *furnace* pada temperatur 950°C selama 60 menit. Serbuk benteng yang telah dikalsinasi, ditimbang sebanyak satu gram lalu dicampur dengan delapan gram Litium Tetra Boraks. Campuran tersebut dilelehkan pada temperatur 1200°C hingga membentuk *beads*. Sampel benteng yang telah membentuk *beads* dianalisis menggunakan XRF dengan memasukkan nilai LOI. Nilai LOI (*Loss on Ignition*) merupakan nilai senyawa yang hilang akibat penguapan ketika sampel dikalsinasi menggunakan *furnace*. Nilai LOI dihitung menggunakan rumus:

$$LOI = \frac{W_{BC} - W_{AC}}{W_{BC}} \quad (1)$$

Dimana W_{BC} adalah berat sampel sebelum kalsinasi (gram). W_{AC} adalah berat sampel setelah kalsinasi (gram). Perlakuan yang sama dilakukan terhadap sampel semen untuk mendapatkan hasil karakterisasi XRF.

Hasil penelitian

Tabel 3 menunjukkan hasil karakterisasi sampel material perekat pada benteng purba di kawasan Aceh Besar. Senyawa oksida yang terkandung dalam material perekat pada benteng purba tersebut tersusun dari jenis senyawa dengan persentase yang keduanya hampir sama. Senyawa oksida dominan yang terkandung dalam material perekat pada tiga benteng purba adalah CaO (yang dikenal sebagai kapur tohor) dengan persentase sebanyak 46,16-51,37%.

Tabel 3. Hasil karakterisasi XRF material perekat benteng

Senyawa	BIP (%)	BIB (%)	BKL (%)
CaO	51,37	46,16	50,78
SiO ₂	2,56	6,68	3,26
Al ₂ O ₃	1,01	2,16	1,03
MgO	0,73	0,98	1,18
Fe ₂ O ₃	0,56	0,70	0,53
Nilai LOI	42,38	42,25	41,63

Berdasarkan senyawa-senyawa penyusun material perekat dari hasil XRF diduga bahwa benteng purba di kawasan Aceh Besar menggunakan material perekat dari batu kapur, seperti yang terlihat pada hasil XRF batu kapur yang telah dilakukan oleh peneliti lain pada daerah tertentu di Indonesia (Tabel 4). Secara umum kandungan CaO memiliki nilai yang sama namun pada benteng purba di kawasan Aceh, kandungan metal (Fe, Al dan Mg) lebih banyak sedikit.

Tabel 4. Hasil karakterisasi XRF batu kapur

Senyawa	Persentase (%)				
	Solok	Halaban	Bukit Tui	Lintau Buo	Indarung
CaO	52,79	54,85	53,36	54,93	52,89
SiO ₂	4,28	2,46	2,06	2,35	4,06
Al ₂ O ₃	0,43	0,31	0,68	0,31	0,41
MgO	0,84	0,66	0,14	0,67	0,83
Fe ₂ O ₃	0,35	0,32	0,38	0,33	0,35
LOI	42,41	42,46	42,46	43,91	42,46

(Sumber: Jamarun, N., Yulfitri, dan Syukri, A. 2007)

Berdasarkan Tabel. 4, hasil karakterisasi XRF batu kapur dari lima daerah yang berbeda menunjukkan bahwa senyawa-senyawa oksida penyusun batu kapur dan material perekat pada benteng memiliki senyawa penyusun yang sama yaitu senyawa CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, dan Fe₂O₃

dengan komposisi yang hampir sama. Nilai LOI dari material perekat benteng dan batu kapur juga memiliki nilai rata-rata yang sama yaitu berkisar pada nilai 42%. Hal ini menunjukkan bahwa kecocokan antara sampel batu kapur dengan material perekat yang digunakan pada benteng-benteng di kawasan Aceh Besar, sehingga penulis menyimpulkan bahwa material perekat yang digunakan pada benteng purba di kawasan Aceh Besar menggunakan material perekat dari batu kapur.

Hasil analisis XRF material perekat pada sampel benteng purba di kawasan Aceh Besar juga telah dibandingkan dengan material perekat bangunan yang digunakan saat ini (semen). Hasil karakterisasi XRF semen dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil XRF semen

Senyawa	Persentase (%)
CaO	61,94
SiO ₂	16,33
Al ₂ O ₃	3,93
MgO	0,97
Fe ₂ O ₃	2,71
SO ₃	2,66
Nilai LOI	10,46

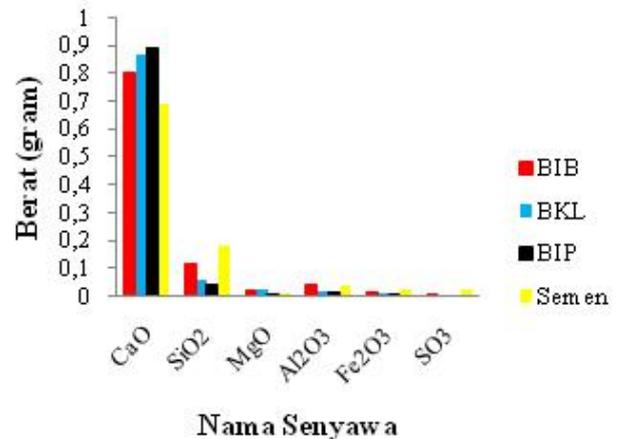
Tabel 6. Perbandingan material perekat benteng purba dan semen untuk 1 gram berat sampel

Nama Senyawa	Berat (gram)			
	BIP	BIB	BKL	Semen
CaO	0,890	0,790	0,870	0,690
SiO ₂	0,044	0,120	0,056	0,180
Al ₂ O ₃	0,013	0,017	0,020	0,011
MgO	0,017	0,037	0,018	0,044
Fe ₂ O ₃	0,009	0,012	0,009	0,030
SO ₃	0,003	0,005	0,002	0,030
LOI	42,38	42,25	41,63	42,41

Perbandingan antara sampel material perekat benteng dan semen tidak didasarkan pada banyaknya persentase senyawa yang terkandung dalam material perekat karena nilai LOI (senyawa oksida yang hilang) pada material perekat benteng jauh lebih besar dibandingkan nilai LOI pada semen, sehingga perbandingan dilakukan berdasarkan pada berat senyawa yang terkandung dalam satu gram sampel material perekat yang dianalisis. Berat senyawa dihitung menggunakan persamaan (2)

$$\frac{\text{Persen CaO}}{\text{Persen total kandungan}} \times 1 \text{ gram} \quad (2)$$

Persen total kandungan dalam sampel adalah 100 % dikurangkan dengan nilai LOI sampel. Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 1 didapatkan bahwa kandungan berat CaO yang terkandung dalam material perekat pada benteng purba di kawasan Aceh Besar lebih besar (rata-rata 0,85 gram) dibandingkan semen sebesar 0,69 gram.



Gambar 1 Perbandingan material perekat pada benteng purba di kawasan Aceh Besar dan semen

Namun kandungan SiO₂ dan SO₃ pada semen terlihat lebih besar yaitu sebanyak 0.18 gram dan 0.03 gram. Berdasarkan referensi, senyawa SO₃ berfungsi untuk mempercepat waktu pengerasan material perekat. Kandungan berat SiO₂ yang lebih besar pada semen dipercaya dapat menambah kekuatan dari sebuah material perekat (Fitri, 2016).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil XRF, benteng-benteng purba di kawasan Aceh Besar menggunakan material perekat dari batu kapur jenis kalsit dengan persentase CaO sebesar 46,16-51,37%. Hasil perbandingan dengan semen modern menunjukkan bahwa material perekat semen tidak mengandung komposisi perekat yang sama dengan benteng purba di kawasan Aceh Besar. Semen mengandung komposisi CaO yang lebih kecil dan SiO₂ yang lebih besar dibandingkan dengan benteng purba, selain itu, semen juga mengandung senyawa SO₃ yang lebih banyak sehingga dipercaya dapat mempercepat waktu pengerasan.

Referensi

Brockmann, W., Paul, L. G., Jurgen, K., Bemhard, S. 2008. "Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology". WILEY-VCH.

- Brouwer, P. 2010. *“Theory of XRF: Getting Acquainted with the Principles”*. PAN alytical. Netherlands.
- Duggal, S. K. 2008. *“Building Materials”* Third Revised Edition. New Age International Publisher. New Delhi.
- Hermansyah dan Nasruddin. 2013. *“Benteng Kesultanan Aceh: Kajian Filologi, Arkeologi, dan Topografi”*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Aceh (PDIA). Banda Aceh.
- Jamarun, N., Yulfitri, dan Syukri, A. 2007. *“Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Batu Kapur dengan Metoda Kaustik Soda”*. J. Kimia Andalas 11(1).4. Universitas Andalas
- Plummer, C., and David Mc. 2005. *“Physical Geology”*. edisi ke tujuh. Wm. C. Brown Publishers. USA.
- Puslitbang Pemukiman. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Bandung.
- Khaira, K. 2011. *“Pengaruh Temperatur dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur terhadap Karakteristik Precipitated Calcium Carbonate (PCC)”*. Jurnal Saintek. 3 (1), 33-45. STAIN Batusangkar.
- Fitri, N., 2016 *“Identifikasi material perekat pada benteng purba di kawasan aceh besar”*, skripsi Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Syiah Kuala.
- Tugino. 2010. *“Model Kuat Tekan dan Tarik Proporsi Tras Muria Dengan Kapur Untuk Bahan Dasar Mortar”*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan. 12, (1), 1-10. Universitas Negeri Semarang (UNNES).
- Sagel, R., Kole, P., and Gideon. H. 1997. *Pedoman Pengerjaan Beton Berdasarkan SKSNI T-15-19991-03*. Erlangga, Jakarta.
- Wright, G.R.H. 2005. *“Ancient Building Technology”*. Volume 2: Materials. BRILL. Boston.
- Wu, L.C., H.W. Hsu., Y.C. Chen., C.C. Chiu., Y.I. Lin dan A. Ho. 2005. *“Antioxidant and Antiproliferative Activities of Red Pitaya”*. Food Chemistry. Vol. 95: 319-327.