

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki cagar budaya berbahan batu dalam bentuk struktur cagar budaya dengan jenis yang beragam dan tersebar di seluruh wilayah Nusantara. Cagar budaya ini sangat rentan terhadap kerusakan dan pelapukan, baik yang berada di ruang tertutup maupun di alam terbuka. Kerentanan tersebut semakin meningkat seiring dengan paparan faktor lingkungan, aktivitas manusia, dan proses pelapukan alami yang berlangsung terus-menerus. Dalam konteks perlindungan dan pengelolaan, Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya pada Pasal 1 Ayat 4 menyebutkan bahwa Struktur Cagar Budaya adalah susunan binaan yang terbuat dari benda alam dan/atau benda buatan manusia untuk memenuhi kebutuhan ruang kegiatan yang menyatu dengan alam, serta sarana dan prasarana untuk menunjang kebutuhan manusia.

Sebagai salah satu contoh struktur cagar budaya berbahan batu di Indonesia, Kota Makassar di Provinsi Sulawesi Selatan memiliki warisan budaya yang menonjol, yaitu Benteng Ujungpandang atau yang lebih dikenal sebagai Benteng Rotterdam. Benteng yang berada di tengah kota ini, tepatnya di Jalan Ujungpandang Nomor 1, pada awalnya merupakan benteng milik Kerajaan Gowa-Tallo. Benteng ini merupakan salah satu dari empat belas benteng pertahanan Kerajaan Gowa-Tallo yang didirikan di pesisir Selat Makassar. Semula Benteng Ujungpandang dibangun oleh Raja Gowa X, Karaeng Tumaparrisi Kallonna, kemudian diambil alih oleh Belanda melalui Perjanjian Bongaya pada 18 November 1667 (Poelinggomang, 2002; Andaya, 2004).

Perubahan kekuasaan ini kemudian membawa dampak besar terhadap fungsi dan bentuk fisik benteng. Setelah Benteng Ujungpandang diambil alih oleh VOC Belanda, namanya diganti menjadi Fort Rotterdam. Penggantian nama ini mengacu pada tempat kelahiran Cornelis Janszoon Speelman, laksamana armada perang VOC pada masa Perang Makassar. Seiring dengan pengambilalihan tersebut, VOC Belanda membangun ulang benteng beserta dinding-dindingnya. Pada fase pembangunan ulang ini, benteng dilengkapi dengan lima bastion dan dua pintu gerbang. Pintu gerbang utama terletak di sebelah barat dan terbuat dari

kayu, dilengkapi dengan penutup daun pintu kembar, sedangkan pintu di sebelah dalam berukuran lebih kecil dengan pasak-pasak dari besi (angkur). Pintu gerbang kedua berupa pintu kecil yang terdapat di sebelah timur.

Sejalan dengan penguatan fungsi militer benteng, Fort Rotterdam juga mengalami penataan ulang struktur pertahanannya melalui pembangunan lima bastion, yaitu: (1) Bastion Bone yang terletak di sebelah barat, tepatnya di bagian tengah benteng; (2) Bastion Bacan di sudut barat daya; (3) Bastion Buton di sudut barat laut; (4) Bastion Mandarsyah di sudut timur laut; dan (5) Bastion Amboina di sudut tenggara. Tiap bastion dihubungkan oleh dinding benteng, kecuali bagian selatan yang tidak memiliki dinding, yakni di antara Bastion Amboina dan Bastion Bacan. Sementara itu, bangunan-bangunan bermotif Gowa di Fort Rotterdam secara bertahap digantikan dengan bangunan bergaya Barat, sebagaimana yang masih dapat disaksikan hingga saat ini.

Dalam perjalanannya, benteng ini beberapa kali beralih fungsi, banyak peristiwa penting yang terjadi pada setiap masanya. Pada periode awal pendiriannya benteng ini menjadi salah satu pertahanan kerajaan Gowa-Tallo yang memiliki peran penting dalam menunjang Makassar sebagai pelabuhan Internasional. Demikian juga, VOC Belanda masih menfunksikannya sebagai benteng pertahanan sekaligus pusat pemerintahan diawal masa kekuasaannya di Makassar. Pada periode ini, Belanda juga menjadikan benteng ini sebagai penjara bagi Pangeran Dipenegoro dari Jawa. Setelah Belanda memindahkan pusat pemerintahannya keluar Benteng Rotterdam, pada 1937 Benteng Rotterdam diserahkan oleh Pemerintah Belanda kepada Yayasan Ford Rotterdam. Pada 1938, salah satu gedung di dalam Benteng ini yang sebelumnya merupakan kediaman Cornelis Speelman difungsikan sebagai museum Celebes yang menjadi museum pertama di Sulawesi Selatan. Pemerintah Belanda pada 23 Mei 1940 mendaftarkan Benteng Rotterdam ini sebagai Monumen bersejarah dengan nomor registrasi 1010 sesuai monumnten *Staatsblad* Tahun 1931. Pada masa pendudukan Jepang (1942-1945) Museum Celebes kemudian ditutup, lalu dialih fungsikan sebagai pusat penelitian ilmu pertanian dan bahasa.

Benteng Rotterdam digunakan sebagai pusat kegiatan pertahanan Belanda dalam menghadapi pejuang-pejuang Republik Indonesia. Pada tahun 1950 Benteng sempat menjadi tempat tinggal Anggota TNI dan warga sipil, sebelum jatuh kembali ke tangan Belanda pada tahun yang sama dalam rangka

pembentukan Negara Indonesia Timur dan dijadikan pusat pertahanan Tentara Koninklijke Neederlandsch Indische Leger (KNIL) untuk menghadapi Tentara Nasional Indonesia (TNI). Pada 1970, Benteng Rotterdam dipugar oleh pemerintah dan difungsikan sebagai perkantoran. Salah satu Bangunan difungsikan menjadi Museum Provinsi Sulawesi Selatan dengan nama Museum La Galigo. Kemudian pada 27 April 1977, kantor Lembaga purbakala dan Peninggalan Nasional Wilayah IV ditempatkan di Benteng ini. Sejak itu, Benteng Rotterdam dimanfaatkan oleh pemerintah sebagai kantor pemerintahan yang menangani Kebudayaan.

Mengingat peristiwa bersejarah yang telah banyak terjadi di Benteng ini, pemerintah melalui Surat Keputusan Menteri Kebudayaan dan Pariwisata Republik Indonesia Nomor PM.59/PW.007/MKP/2010 Tanggal 22 Juni 2010 Benteng Rotterdam ditetapkan sebagai Benda Cagar Budaya. Surat keputusan tersebut masih mengacu pada Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1992 Tentang Benda Cagar Budaya, Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1992, menegaskan bahwa Benda Cagar Budaya merupakan kekayaan Budaya bangsa yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan dan kebudayaan, sehingga perlu dilindungi dan dilestarikan demi pemupukan kesadaran jati diri bangsa dan kepentingan nasional. Seiring adanya peraturan baru terkait Cagar Budaya yaitu Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya status penetapan Benteng Rotterdam kemudian diperbarui dengan surat keputusan Mendikbud Nomor: 025/M/2014 tentang penetapan Benteng Rotterdam sebagai situs Cagar Budaya peringkat Nasional. Status Benteng Rotterdam sebagai Cagar Budaya juga diperkuat dengan Surat Keputusan Walikota Makassar Nomor: 574/432.2/Tahun 2018 tertanggal 11 Januari 2018 tentang penetapan Benteng Rotterdam sebagai situs Cagar Budaya peringkat Kabupaten/Kota. (Mulyadi, 2021; 104-106)

Berdasarkan nilai penting yang dimiliki dari Benteng Rotterdam maka dianggap perlu melakukan bentuk-bentuk pelestarian Cagar Budaya. Bentuk pelestarian menurut Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 pada Pasal 1 ayat (22) berbunyi: "Pelestarian adalah upaya dinamis untuk mempertahankan keberadaan Cagar Budaya dan nilainya dengan cara melindungi, mengembangkan, dan memanfaatkannya". Lebih lanjut, pada ayat (23) berbunyi "Pelindungan adalah upaya mencegah dan menanggulangi dari kerusakan,

kehancuran, atau kemusnahan dengan cara Penyelamatan, Pengamanan, Zonasi, Pemeliharaan, dan Pemugaran Cagar Budaya”.

Salah satu upaya perlindungan struktur Benteng Rotterdam adalah berupa pemeliharaan cagar budaya secara jelas diatur dalam Undang-Undang No. 11 tahun 2011 pada Pasal 76 Ayat 1 sampai dengan Ayat 6 tentang Pemeliharaan. Pemeliharaan dilakukan dengan cara merawat Cagar Budaya untuk mencegah dan menanggulangi kerusakan akibat pengaruh alam dan/atau perbuatan manusia, yang dapat dilakukan di lokasi asli atau ditempat lain, setelah lebih dahulu didokumentasikan secara lengkap. Perawatan dilakukan dengan pembersihan, pengawetan, dan perbaikan atas kerusakan dengan memperhatikan keaslian bentuk, tata letak, gaya, bahan, dan/atau teknologi Cagar Budaya. Salah satu cara pemeliharaan cagar budaya adalah Konservasi.

Mengacu pada piagam dari *International Council of Monuments and Site* (ICOMOS) tahun 2013, yaitu charter for the Conservastion of Places of Cultural Significance, Burra, Australia yang lebih dikenal dengan Burra Charter, mendefinisikan konservasi adalah konsep proses pengelolaan suatu tempat atau ruang atau objek agar makna kultural yang terkandung didalamnya terpelihara dengan baik. Dalam pengertian yang lain konservasi adalah suatu tindakan pelestarian yang dilakukan dengan cara memelihara, mengawetkan Cagar Budaya dengan cara tradisional atau dengan teknologi modern sebagai upaya untuk menghambat proses kerusakan dan pelapukan lebih lanjut. Menurut Budiharjo dkk (2009) menyatakan ada beberapa prinsip-prinsip yang dipertimbangkan dalam melakukan konservasi yaitu:

- a. Efektif; prinsip efektif dalam tindakan konservasi menekankan bahwa setiap metode dan bahan yang digunakan harus mampu secara nyata mengatasi permasalahan yang dihadapi oleh cagar budaya. Dalam konteks kerusakan akibat pertumbuhan lumut dan mikroorganisme, tindakan konservasi dikatakan efektif apabila mampu menurunkan tingkat tutupan lumut, memperlambat pertumbuhan kembali, serta mengurangi dampak fisik dan kimia terhadap permukaan batuan. Efektivitas juga diukur dari kemampuan tindakan tersebut dalam menjaga keterbacaan, keutuhan, dan stabilitas material asli tanpa menimbulkan kerusakan baru.
- b. Efisien; dalam konservasi berarti penggunaan sumber daya baik bahan, tenaga, waktu, maupun biaya secara optimal tanpa mengurangi kualitas hasil

konservasi. Penggunaan bahan konservan yang relatif murah, mudah diperoleh secara lokal, dan memiliki daya kerja yang cukup lama menjadi penting, terutama dalam konteks pengelolaan situs yang berkelanjutan. Bahan alami seperti minyak atsiri atau ekstrak tumbuhan memiliki potensi efisiensi karena selain harganya lebih terjangkau, juga dapat diproduksi dan diaplikasikan dengan teknologi sederhana serta dapat diaplikasikan berulang tanpa biaya tinggi.

- c. Aman; Keamanan merupakan prinsip utama dalam setiap tindakan konservasi. Bahan dan metode yang digunakan harus tidak membahayakan konservator, tidak merusak material cagar budaya, serta tidak mencemari lingkungan sekitarnya. Dalam pengendalian lumut, penggunaan bahan kimia sintetis yang bersifat toksik dan korosif beresiko mempercepat degradasi batuan dan membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, bahan konservasi tradisional dan berbasis alam seperti minyak atsiri lebih diutamakan karena umumnya bersifat lebih ramah lingkungan, memiliki toksisitas rendah, dan tidak meninggalkan residu berbahaya pada permukaan batuan.
- d. Metode konservasi harus bersifat *reversible*; Prinsip reversible berarti bahwa setiap perlakuan konservasi harus dapat dibatalkan, dikoreksi, atau diperbaiki di masa depan tanpa merusak material asli. Hal ini penting karena ilmu konservasi terus berkembang dan metode yang dianggap terbaik saat ini dapat berubah seiring dengan kemajuan penelitian. Penggunaan bahan yang tidak bersifat permanen dan tidak mengubah struktur kimia maupun fisik batuan memungkinkan tindakan konservasi dievaluasi kembali serta diganti dengan metode yang lebih baik di kemudian hari, tanpa meninggalkan dampak yang tidak dapat diperbaiki.
- e. Bahan dan metode harus dapat bersifat ilmiah; Tindakan konservasi harus didasarkan pada prinsip-prinsip ilmiah yang dapat diuji, diukur, dan dipertanggungjawabkan. Pemilihan bahan dan metode tidak boleh hanya didasarkan pada kebiasaan atau asumsi, tetapi harus melalui kajian laboratorium, pengujian lapangan, serta analisis terhadap efek jangka pendek dan jangka panjangnya terhadap material cagar budaya. Dalam penelitian mengenai pengendalian lumut dengan minyak atsiri, pendekatan ilmiah ini tercermin melalui pengujian konsentrasi, pengamatan efektivitas, serta evaluasi dampaknya terhadap permukaan batuan dan pertumbuhan biotik, sehingga

hasilnya dapat menjadi dasar yang valid untuk praktik konservasi berkelanjutan.

Cagar budaya berbahan batu sangat rentan terhadap kerusakan dan pelapukan akibat dari pelapukan fisis, kimia dan biologi. Salah satu jenis pelapukan yang sering terjadi pada cagar budaya berbahan batu akibat dari faktor biologi disebabkan oleh pertumbuhan ganggang/*algae*, lumut/*moss*, lumut kerak/*lichen* (Wahyuni, 2021). Pelapukan batu oleh lumut (Musci dan Hepaticae) disebabkan oleh mekanisme biogeokimia dan biogeofisika (Altieri, A and Ricci, S. 1997). Lumut memiliki kemampuan untuk melakukan penetrasi ke semua tipe batuan dengan rhizoidnya. Lumut juga memiliki kemampuan dalam mengakumulasi ion kalsium dari substratnya. Karena keasaman yang lebih tinggi pada rhizoidnya, organisme ini memiliki kemampuan yang tinggi untuk mengekstraksi kation mineral batu (Kumar, R dan Kumar, A.V.; 1999). Lembaga yang kerap melakukan kegiatan konservasi struktur Benteng Rotterdam adalah Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan.

Upaya-upaya Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan untuk mengatasi penyebab kerusakan dan pelapukan yang disebabkan oleh pertumbuhan lumut selama ini dengan pembersihan secara mekanis kering, mekanis basah dan bahan kimia. Pada Tahun 2010, Struktur Dinding Benteng Rotterdam dilakukan kegiatan konservasi menggunakan bahan kimia AC 322. Komponen AC 322 sendiri terdiri dari *Ammonium bikarbonat* (NH_4HCO_3), *Sodium bikarbonat* (NaHCO_3), disodium salt EDTA (*Etilena Diamina Tetra Acetat*), CMC (*Carboxy Methyl Cellulosa*), Arkopal dan air. Namun, hasil monitoring dan evaluasi penggunaan bahan kimia dari larutan AC 322 dapat mencemari lingkungan, maka penggunaan bahan ini tidak diperbolehkan lagi. Penanganan lumut pada Struktur Benteng Rotterdam kembali dengan pembersihan secara mekanis kering dan basah, namun hal ini tidak mengatasi pertumbuhan lumut karena bersifat hanya memindahkan spora dan tidak efektif menghambat pertumbuhan lumut.

Selanjutnya, pada Tahun 2017 Balai Pelestarian Cagar Budaya Provinsi Sulawesi Selatan melakukan kegiatan konservasi untuk penanganan Lumut menggunakan bahan kimia yaitu larutan *Herbisida Hyamine*, namun hal ini tidak berlangsung lama karena setelah dievaluasi penggunaan bahan kimia memiliki resiko mencemari lingkungan dan dapat menyebabkan resiko penyakit pada manusia. Penanganan pertumbuhan lumut dilakukan dengan cara menyapu atau menyikat pada batuan ini kembali dilakukan, tetapi dengan metode ini bisa

berimplikasi merontokkan batu. Oleh karena itu perlu penelitian menggunakan minyak atsiri.

Beberapa perlakuan konservasi tradisional telah lama dikenal dan dipraktikkan oleh masyarakat dalam upaya menjaga keberlangsungan benda dan struktur budaya, jauh sebelum berkembangnya metode konservasi modern berbasis bahan kimia sintetis. Perlakuan-perlakuan ini umumnya memanfaatkan bahan-bahan alami yang tersedia di lingkungan sekitar dan didasarkan pada pengetahuan empiris yang diwariskan secara turun-temurun, sehingga mencerminkan pemahaman lokal terhadap sifat material, kondisi lingkungan, serta faktor-faktor penyebab kerusakan pada benda budaya. Dalam konteks pelestarian cagar budaya, konservasi tradisional sering diterapkan untuk mengatasi permasalahan pelapukan fisik, kimia, dan biologis, seperti pertumbuhan lumut, alga, jamur, serta mikroorganisme lain pada permukaan batu, kayu, dan dinding bangunan bersejarah. Berbagai bahan alami, antara lain ekstrak tumbuhan, minyak atsiri, getah, abu, kapur, dan ramuan herbal tertentu, dimanfaatkan sebagai bahan pembersih, pelindung, maupun penghambat pertumbuhan organisme perusak. Selain relatif mudah diperoleh, bahan-bahan tersebut umumnya lebih ramah lingkungan dan memiliki resiko yang lebih rendah terhadap kerusakan material asli dibandingkan dengan penggunaan bahan kimia sintetis yang bersifat keras, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai alternatif konservasi berbasis kearifan lokal yang berkelanjutan.

Upaya-upaya yang telah diuraikan diatas, maka beberapa penelitian mengembangkan metode konservasi berbasis kearifan lokal untuk penanganan kerusakan dan pelapukan cagar budaya. Beberapa bahan konservan berbasis kearifan lokal yang ada di masyarakat yang telah diteliti penerapannya dalam konservasi benda budaya, antara lain;

- a. Air perasan jeruk nipis untuk konservasi berbahan logam pada proses penjemasan keris di masyarakat Yogyakarta dan Solo (Swastikawati, 2012).
- b. Campuran tembakau, cengkeh, dan pelepah pisang untuk pemeliharaan cagar budaya yang berbahan kayu jati (Cahyandaru, 2010).
- c. Penggunaan minyak kemiri untuk konservasi naskah lontar (Sacana, 2011).

Sebagai salah satu masterpiece warisan budaya sekaligus ikon historis Kota Makassar, Benteng Rotterdam memiliki nilai strategis tidak hanya dari aspek sejarah dan arsitektur, tetapi juga sebagai identitas kultural dan simbol

kebanggaan masyarakat. Upaya pelestarian benteng ini menuntut pendekatan konservasi yang tidak hanya efektif dalam mengendalikan faktor-faktor kerusakan biologis, seperti pertumbuhan lumut dan mikroorganisme, tetapi juga selaras dengan prinsip konservasi berkelanjutan dan pelestarian nilai keaslian material. Pemanfaatan minyak atsiri sebagai bahan pengendali pertumbuhan organisme biotik menawarkan alternatif konservasi yang relatif lebih efektif, efisien, aman dan ramah lingkungan, serta berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintesis yang beresiko merusak struktur batuan dalam jangka panjang.

Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting untuk mengkaji secara ilmiah efektivitas penggunaan minyak atsiri dalam konteks konservasi dinding sebelah Barat sisi luar Benteng Rotterdam. Pemilihan dinding sebelah barat pada sisi luar Benteng Rotterdam didasarkan pada karakteristik lingkungan mikro yang khas, terutama tingkat kelembaban yang relatif tinggi dan paparan intensitas cahaya matahari yang signifikan, yang keduanya berperan penting dalam mendukung pertumbuhan organisme biotik seperti lumut dan mikroorganisme perusak. Kondisi tersebut menimbulkan potensi terjadinya pelapukan biologis menjadi lebih besar sehingga area ini dipandang sebagai lokasi yang representatif untuk mengkaji dinamika kerusakan material batuan. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode konservasi cagar budaya di Indonesia, tetapi juga memperkuat upaya pelestarian Benteng Rotterdam sebagai simbol sejarah Kota Makassar yang keberlanjutannya harus dijaga bagi generasi mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Benteng Rotterdam merupakan salah satu *masterpiece* Kota Makassar sekaligus Struktur Cagar Budaya berbahan batu yang hingga kini masih dapat disaksikan keberadaannya. Meskipun demikian, sebagai struktur yang berada pada lingkungan terbuka, Struktur Benteng Rotterdam sangat rentan terhadap berbagai bentuk kerusakan dan pelapukan. Proses pelapukan tersebut terjadi melalui mekanisme pelapukan fisis, kimia, dan biologi. Salah satu permasalahan utama yang memengaruhi kondisi struktur dinding Benteng Rotterdam adalah pelapukan biologis yang disebabkan oleh pertumbuhan lumut pada permukaan batuan.

Pemilihan dinding Benteng Rotterdam sebagai objek penelitian difokuskan pada dinding sebelah barat sisi luar. Upaya konservasi yang dilakukan meliputi pembersihan secara berkala dan rutin sebagai bentuk penyelamatan terhadap kondisi dinding benteng. Namun, berdasarkan tinjauan terhadap laporan kegiatan konservasi serta hasil pengamatan langsung di lapangan, upaya tersebut belum mampu mengendalikan pertumbuhan lumut secara optimal dan berkelanjutan.

Seiring dengan kondisi tersebut, dalam beberapa tahun terakhir telah berkembang berbagai penelitian yang mengkaji pengendalian pertumbuhan lumut menggunakan bahan alami, salah satunya minyak atsiri. Minyak atsiri dinilai memiliki potensi sebagai agen pengendali pertumbuhan organisme biotik yang relatif ramah lingkungan dan sesuai dengan prinsip konservasi cagar budaya. Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pemanfaatan minyak atsiri dalam pengendalian pertumbuhan lumut pada struktur dinding Benteng Rotterdam. Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mekanisme tumbuhan tingkat rendah sehingga memengaruhi kerusakan pada dinding Benteng Rotterdam?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan minyak atsiri dalam pengendalian pertumbuhan lumut pada struktur dinding Benteng Rotterdam?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang diangkat, maka penelitian ini memiliki tujuan yaitu:

1. Menganalisis mekanisme tumbuhan tingkat rendah, khususnya lumut, dalam memengaruhi terjadinya kerusakan pada struktur dinding Benteng Rotterdam, baik melalui proses fisik, kimia, maupun biologis pada material batuan.
2. Mengkaji efektivitas penggunaan minyak atsiri sebagai agen pengendali pertumbuhan lumut pada struktur dinding Benteng Rotterdam, serta menilai potensi penerapannya sebagai alternatif metode konservasi yang ramah lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian ilmiah di bidang konservasi cagar budaya, khususnya terkait pemahaman mekanisme tumbuhan tingkat rendah dalam menyebabkan kerusakan material batuan pada dinding Benteng serta pemanfaatan minyak atsiri sebagai bahan pengendali biologi pada struktur cagar budaya.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dan referensi bagi instansi terkait, khususnya Balai Pelestarian Cagar Budaya, dalam merumuskan strategi pengendalian pertumbuhan lumut yang lebih efektif, berkelanjutan, dan sesuai dengan prinsip pelestarian keaslian material pada struktur Benteng Rotterdam.

3. Manfaat Kebijakan dan Konservasi

Penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan kebijakan konservasi berbasis penelitian ilmiah, terutama dalam penerapan bahan konservan alami yang ramah lingkungan pada cagar budaya berbahan batu, serta memperkuat upaya pelestarian Benteng Rotterdam sebagai *masterpiece* dan ikon sejarah Kota Makassar.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Hasil Penelitian Relevan

Salvadori dan Municchia (2016) melakukan penelitian bahwa minyak atsiri tumbuhan, khususnya minyak sereh (*Cymbopogon citratus*) dan beberapa minyak aromatik lainnya, sangat efektif dalam mengendalikan pertumbuhan alga, jamur, dan mikroorganisme pembentuk biofilm pada permukaan batu cagar budaya. Aplikasi minyak atsiri dengan metode semprot dan kompres mampu menurunkan biomassa mikroorganisme secara signifikan, membersihkan lapisan biofilm, dan menghambat pertumbuhan ulang dalam periode pengamatan, tanpa menimbulkan perubahan warna, kerusakan fisik, maupun degradasi kimia pada substrat batu. Hasil ini menegaskan bahwa minyak atsiri merupakan agen biokontrol alami yang aman, ramah lingkungan, dan layak digunakan sebagai alternatif pengganti biocide sintetis dalam konservasi permukaan batu bersejarah.

Pinna, dkk (2015) melaporkan bahwa penggunaan campuran minyak atsiri yang mengandung senyawa aktif seperti thymol dan carvacrol (terutama dari oregano dan thyme) sangat efektif dalam mengendalikan biodeteriorasi biologis pada permukaan batu cagar budaya, khususnya marmer dan batuan karbonat. Melalui metode aplikasi kompres (*poultice*), minyak atsiri mampu menembus pori-pori batu dan menghancurkan koloni alga, jamur, serta mikroorganisme pembentuk biofilm yang menyebabkan perubahan warna dan pelapukan permukaan. Hasil pengamatan mikroskopis dan visual menunjukkan penurunan signifikan biomassa mikroorganisme tanpa merusak struktur fisik atau komposisi mineral batu, sehingga minyak atsiri dinilai sebagai agen biokontrol yang efektif, aman, dan ramah lingkungan untuk konservasi material batu bersejarah.

Nugroho dan Pratiwi (2021) menemukan bahwa aplikasi minyak atsiri sereh wangi (*Cymbopogon nardus*) pada permukaan batu kapur cagar budaya mampu menurunkan koloni lumut dan biofilm mikroorganisme secara signifikan, dengan tingkat pengurangan mencapai lebih dari dua pertiga dalam 24 jam setelah perlakuan. Minyak atsiri bekerja dengan menembus lapisan biofilm dan merusak struktur sel alga, jamur, dan mikroorganisme fotosintetik yang membentuk lumut, sehingga menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan kematian sel. Hasil pengamatan visual dan mikroskopis menunjukkan bahwa permukaan batu yang

diberi perlakuan menjadi lebih bersih dan kering, tanpa menimbulkan perubahan warna atau kerusakan fisik pada substrat batu kapur, sehingga minyak atsiri sereh wangi dinilai efektif, aman, dan potensial sebagai agen biokontrol dalam konservasi cagar budaya berbahan batu.

Hasil penelitian Burt (2004) menunjukkan bahwa berbagai minyak atsiri seperti cengkeh, thyme, oregano, dan sereh memiliki aktivitas antimikroba dan antijamur yang kuat terhadap bakteri, jamur, dan mikroorganisme pembentuk biofilm yang sering menjadi penyebab pelapukan biologis pada berbagai material padat. Senyawa aktif dalam minyak atsiri, seperti eugenol, thymol, carvacrol, dan citral, bekerja dengan merusak struktur lipid pada membran sel mikroorganisme, sehingga menyebabkan kebocoran isi sel, gangguan metabolisme, dan akhirnya kematian sel. Mekanisme kerja ini bersifat non-spesifik, sehingga mikroorganisme sulit membentuk resistensi, sekaligus menjadikan minyak atsiri lebih efektif dan berkelanjutan dibandingkan bahan kimia sintesis. Selain itu, minyak atsiri bersifat mudah terurai dan relatif aman bagi lingkungan, sehingga dinilai potensial untuk diaplikasikan sebagai agen pengendali pertumbuhan mikroorganisme pada konservasi material berpori seperti batu dan dinding cagar budaya.

Penelitian yang dilakukan oleh Sacana (2011) menggunakan minyak atsiri yang berasal dari minyak kemiri, minyak wijen, minyak cengkeh, minyak sereh dan campuran gliserin dan minyak kemiri sebagai bahan dalam konservasi naskah lontara. Pada penelitian tersebut, menyimpulkan bahwa pengaplikasian dalam bentuk minyak secara langsung pada permukaan koleksi lontara ternyata menimbulkan jamur pada permukaan benda. Penggunaan bahan konservasi campuran minyak kemiri dengan gliserin dapat mengubah warna pada naskah lontara.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Wahyuni dkk. (2016), untuk mengetahui daya hambat minyak atsiri terhadap pertumbuhan alga pada lumut kerak. Minyak atsiri yang digunakan adalah minyak atsiri cengkeh, biji pala, temulawak dan nilam. Dari hasil kajian diperoleh kesimpulan minyak atsiri nilam, temulawak, cengkeh dan pala berdasarkan percobaan dapat menghambat pertumbuhan sel mikroalga dari lumut kerak.

Khansa, (2019) melakukan penelitian menunjukkan bahwa Rerata diameter zona hambat yang dihasilkan minyak atsiri bunga cengkeh konsentrasi 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% secara berurutan adalah 7,79 mm, 12,02 mm, 12,80 mm

dan 13,96 mm. Semakin tinggi konsentrasi minyak atsiri bunga cengkeh, semakin besar diameter zona hambat jamur *Candida albicans* yang terbentuk. Hasil uji statistik menunjukkan adanya aktivitas antifungi minyak atsiri bunga cengkeh dalam menghambat pertumbuhan jamur *Candida albicans* dengan konsentrasi optimal sebesar 2%.

Dian Fransiska dkk. (2021) menyimpulkan bahwa aplikasi tiga jenis minyak atsiri, yaitu sereh wangi, pala, dan cengkeh, pada permukaan bata dan batu di Situs Candi Surowono menunjukkan tingkat efektivitas yang berbeda dalam mengendalikan pertumbuhan lumut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emulsi minyak atsiri sereh wangi 10% dan minyak atsiri cengkeh 10% merupakan formulasi yang paling efektif, yang ditunjukkan oleh perubahan warna lumut dari hijau menjadi kecoklatan setelah waktu kontak 24 jam. Perubahan warna tersebut mengindikasikan terjadinya kerusakan sel dan kematian jaringan lumut, sehingga kedua jenis minyak atsiri tersebut dinilai paling potensial untuk digunakan sebagai agen pembersih biologis pada material cagar budaya berbahan bata dan batu.

Penelitian yang dilakukan oleh Harahaf, dkk (2019) juga mengembangkan penggunaan minyak atsiri dalam bidang konservasi Cagar Budaya dengan berbasis kearifan tradisional. Minyak atsiri adalah suatu senyawa lipofilik hasil ekstrak alami melalui proses penyulingan (destilasi) menggunakan uap air mendidih, dari berbagai jenis tanaman khususnya pada bagian biji, bunga, daun, kayu dan atau putik bunga.

Swastikawati (2013) melakukan penelitian identifikasi zat aktif dalam tanaman pada ekstrak akar wangi dan cengkeh untuk uji test jamur dan anti serangga. Penelitian menyimpulkan ekstrak akar wangi dan cengkeh ini dapat digunakan untuk penanganan jamur dan serangga. Akan tetapi, serangga yang diujikan di Laboratorium yaitu *Cigarette beetles* (serangga/kumbang tembakau), bukan yang berasal dari serangga yang menyerang material cagar budaya.

Leliek dkk (2014) melakukan penelitian yaitu konservasi kayu dengan bahan tradisional minyak sereh wangi dan minyak lada hitam terhadap rayap kayu kering dan jamur pada kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak sereh wangi dan minyak lada hitam dapat digunakan untuk menangkal serangan rayap kayu kering. Minyak sereh efektif dapat menghambat pertumbuhan jamur pada kayu, namun tidak demikian dengan minyak lada hitam. Minyak lada hitam tidak efektif untuk penghambat pertumbuhan jamur pada kayu.

2.2 Landasan Konseptual

2.2.1 Pelestarian Cagar Budaya

Pada prinsipnya, pelestarian cagar budaya mencakup tiga bentuk kegiatan utama, yakni perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan. Perlindungan merupakan upaya preventif dan kuratif yang bertujuan mencegah serta menanggulangi kerusakan, kehancuran, maupun kemusnahan cagar budaya. Bentuk kegiatan perlindungan meliputi penyelamatan, pengamanan, penetapan zonasi, pemeliharaan, dan pemugaran. Sementara itu, pengembangan diartikan sebagai usaha meningkatkan potensi nilai, informasi, serta promosi cagar budaya melalui kegiatan penelitian, revitalisasi, dan adaptasi (Rahardjo, 2013).

Pemanfaatan cagar budaya adalah pendayagunaan yang dilakukan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan tetap memperhatikan prinsip kelestariannya. Berbeda dengan pelestarian yang terdiri atas perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan. Pengelolaan merupakan suatu upaya terpadu yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan terhadap seluruh kegiatan tersebut. Dengan demikian, pengelolaan dapat dipahami sebagai aspek manajerial dalam proses pelestarian cagar budaya (Rahardjo, 2013).

Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya, khususnya Pasal 5 hingga Pasal 11, mengatur kriteria objek yang dapat diusulkan sebagai cagar budaya. Berdasarkan Pasal 5, suatu benda, bangunan, atau struktur dapat ditetapkan sebagai cagar budaya apabila memenuhi kriteria: berusia sekurang-kurangnya 50 tahun atau mewakili masa gaya paling singkat 50 tahun, memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan, serta mengandung nilai budaya yang berperan dalam penguatan kepribadian bangsa.

Lebih lanjut, cagar budaya diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yaitu Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, Struktur Cagar Budaya, Situs Cagar Budaya, dan Kawasan Cagar Budaya. Pasal 6 menjelaskan bahwa Benda Cagar Budaya dapat berupa benda alam maupun buatan manusia yang dimanfaatkan oleh manusia, termasuk sisa-sisa biota yang berkaitan dengan aktivitas manusia atau sejarah manusia, baik yang bersifat bergerak maupun tidak bergerak, serta dapat merupakan satu kesatuan atau kelompok.

Pasal 7 menyebutkan bahwa Bangunan Cagar Budaya dapat terdiri atas unsur tunggal atau jamak, serta dapat berdiri sendiri atau menyatu dengan formasi

alam. Selanjutnya, Pasal 8 menyatakan bahwa Struktur Cagar Budaya dapat berunsur tunggal atau banyak, serta sebagian atau seluruhnya menyatu dengan formasi alam.

Pasal 9 dijelaskan bahwa suatu lokasi dapat ditetapkan sebagai Situs Cagar Budaya apabila mengandung Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, dan/atau Struktur Cagar Budaya, serta menyimpan informasi mengenai aktivitas manusia pada masa lalu. Adapun Pasal 10 mengatur bahwa suatu satuan ruang geografis dapat ditetapkan sebagai Kawasan Cagar Budaya apabila memuat dua situs cagar budaya atau lebih yang letaknya berdekatan, berupa lanskap budaya hasil aktivitas manusia berusia minimal 50 tahun, memperlihatkan pola tata ruang masa lalu, menunjukkan pengaruh manusia dalam pemanfaatan ruang berskala luas, memperlihatkan bukti pembentukan lanskap budaya, serta memiliki lapisan tanah terpendam yang mengandung bukti aktivitas manusia atau endapan fosil. Selanjutnya, Pasal 11 menjelaskan bahwa benda, bangunan, struktur, lokasi, atau satuan ruang geografis yang berdasarkan hasil penelitian memiliki arti khusus bagi masyarakat atau bangsa Indonesia tetap dapat diusulkan sebagai cagar budaya, meskipun tidak sepenuhnya memenuhi kriteria sebagaimana tercantum dalam Pasal 5 hingga Pasal 10.

Berdasarkan kriteria tersebut, Benteng Rotterdam dapat dikategorikan sebagai Situs Cagar Budaya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010. Oleh karena itu, keberadaan Benteng Rotterdam selayaknya dilindungi dan dilestarikan sebagai bagian dari warisan budaya bangsa. Adapun tujuan pelestarian cagar budaya sebagaimana tercantum dalam Pasal 3 Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 meliputi upaya melestarikan warisan budaya bangsa dan umat manusia, meningkatkan harkat dan martabat bangsa melalui cagar budaya, memperkuat jati diri bangsa, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta mempromosikan warisan budaya bangsa kepada masyarakat luas.

2.2.2 Konservasi Arkeologi

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), konservasi adalah perlindungan dan pemeliharaan cagar budaya yang dilakukan secara teratur untuk mencegah terjadinya kerusakan dan kemusnahan dengan cara melakukan pengawetan, perawatan, dan pelestarian. Konservasi merupakan upaya

pelestarian yang dilakukan pada bangunan cagar budaya. Secara konsep konservasi juga diartikan sebagai konsep proses pengelolaan suatu tempat, ruang atau obyek agar makna kultural yang terkandung didalamnya dapat terpelihara dengan baik (Saputra, 2013).

Konservasi merujuk pada tindakan yang bersifat kuratif atau perawatan terhadap benda yang mengalami kerusakan dan pelapukan fisik, kimiawi, dan biologis secara langsung (Sadirin, 2014). Konservasi atau pelestarian terhadap benda-benda cagar budaya dapat menjadi identitas budaya lokal di beberapa daerah masih tampak pada sisa-sisa peninggalannya. Peninggalan tersebut dapat berbentuk bangunan, museum, gedung, benda-benda cagar budaya bergerak lainnya di darat dan di air. Hal ini tentunya harus mendapat perhatian yang serius. Budaya lokal yang masih tumbuh dan berkembang serta diyakini oleh masyarakat berbanding lurus dengan peninggalan masa lalu yang tidak dapat dipisahkan begitu saja dalam bentuk cagar budaya (Hermansyah dkk., 2018).

Konservasi merupakan tindakan pelestarian yang dapat diambil dalam menjaga kelestarian Cagar Budaya. Undang-Undang No 11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya, bangunan Cagar Budaya mempunyai arti penting dalam penguatan identitas budaya bangsa. Melalui bangunan cagar budaya tersebut diharapkan dapat menumbuhkan semangat nasionalisme khususnya untuk generasi mendatang. Tujuan penerapan konservasi arkeologi adalah untuk menghambat terjadinya kerusakan dan pelapukan lebih lanjut terhadap Cagar Budaya. Sehingga, Cagar Budaya tersebut dapat terhindarkan dari kehancuran dan kepunahan (Anonim, 2006).

Berdasarkan beberapa pendefinisian konservasi di atas dapat diketahui bahwa pelestarian benda cagar budaya melalui konservasi tidak hanya sebatas melindungi. Namun ada beberapa aspek-aspek yang perlu diketahui, seperti sifat bahan dasar pembuatan, faktor penyebab kerusakan, serta bagaimana tindakan dalam memperbaiki benda cagar budaya tersebut (Zaman, 2021). Menurut (Sidharta dan Budihardjo, 1989) tindakan konservasi pada bangunan cagar budaya dikategorikan dalam beberapa jenis, antara lain:

- a. Adaptasi/Revitalisasi; merupakan upaya yang dilakukan untuk merubah Cagar Budaya agar dapat digunakan sesuai dengan fungsinya, kegunaan yang tidak menuntut perubahan drastis.

- b. Demolisi; merupakan upaya penghancuran atau perubahan suatu Cagar Budaya yang sudah rusak atau membahayakan.
- c. Preservasi; merupakan tindakan pelestarian yang dilakukan pada cagar budaya persis seperti keadaan aslinya tanpa ada perubahan, termasuk upaya untuk mencegah terjadinya kehancuran.
- d. Rehabilitasi/Restorasi; merupakan upaya yang dilakukan untuk mengembalikan cagar budaya ke keadaan semula dengan menghilangkan tambahan-tambahan dan memasang komponen semula tanpa menggunakan bahan baru.
- e. Rekonstruksi; merupakan upaya yang dilakukan untuk mengembalikan cagar budaya semirip mungkin dengan keadaan semula, dengan menggunakan bahan lama ataupun bahan baru.

Berdasarkan kerangka yang disusun oleh *International Council of Museums-Committee for Conservation* (ICOM-CC, 2008), konservasi terdiri dari tiga aspek utama yaitu konservasi preventif, remedial, dan restorasi. Konservasi preventif merupakan tindakan tidak langsung untuk mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan melalui pengelolaan lingkungan seperti pengaturan kelembapan, pencahayaan, suhu, dan lainnya. Konservasi remedial merupakan intervensi langsung pada objek untuk memperlambat terjadinya kerusakan lebih lanjut, seperti stabilisasi struktur dan pelindungan material yang rapuh. Sedangkan konservasi restorasi merupakan upaya untuk mengembalikan objek ke kondisi mendekati aslinya, baik dari segi estetika maupun fungsinya, dengan tetap mempertahankan integritas sejarah yang terdapat pada objek tersebut.

Proses konservasi harus dilakukan dengan mematuhi prinsip-prinsip etika konservasi. Menurut Ashley dan Smith (2006), ada beberapa prinsip dalam konservasi yaitu prinsip Arkeologis dan prinsip teknis. Prinsip Arkeologis dalam penanganan konservasi harus memperhatikan nilai yang terkandung pada Cagar Budaya yang meliputi:

- a. Keaslian bahan (*authenticity of material*) yang meliputi jenis bahan, warna, tekstur dan patina benda;
- b. Keaslian desain (*authenticity of design*) meliputi bentuk, ukuran dan rancangan lainnya;

- c. Keaslian teknologi pengerjaan (*authenticity of workmanship*) meliputi teknik pembuatan, penyelesaian akhir;
- d. Keaslian tata letak (*authenticity of setting*) yang secara khusus diterapkan pada konservasi bangunan dan situsnya.

Selain prinsip Arkeologis, juga perlu memperhatikan prinsip teknis dalam penanganan konservasi Cagar Budaya di antaranya adalah reversibilitas, di mana setiap tindakan yang dilakukan harus dapat dibatalkan tanpa merusak objek; pemeriksaan ilmiah dilakukan untuk memahami kondisi dan material objek; penghapusan bahan restorasi lama yang tidak sesuai; dan pelaksanaan restorasi berdasarkan bukti autentik yang dapat diverifikasi. Selain itu, bahan yang digunakan dalam proses konservasi sebaiknya berasal dari material asli atau alternatif modern yang sesuai. Dokumentasi juga menjadi komponen penting untuk merekam setiap proses konservasi sebagai bahan referensi di masa mendatang. Prinsip ini juga ditekankan oleh ICOM (2017), yang menyoroti pentingnya keseimbangan antara perlindungan fisik objek dan nilai-nilai budaya, ilmiah, dan sejarah yang dimilikinya.

Swastika et al, 2012 mengemukakan bahwa konservasi tidak hanya dilakukan terhadap cagar budayanya tetapi juga lingkungannya sebagai satu kesatuan secara kontekstual. Oleh karena itu pengkajian permasalahan harus dilakukan pada kedua aspek tersebut. Dari hasil pengkajian tersebut dapat diketahui permasalahan aktual yang dihadapi dan strategi penanggulangannya. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan konservasi, yaitu:

1. Pendokumentasian secara lengkap baik sebelum penanganan (kondisi eksisting), selama penanganan, maupun sesudah penanganan cagar budaya
2. Bukti-bukti sejarah tidak boleh rusak, dipalsukan, atau dihilangkan karena proses konservasi;
3. Intervensi seminimum mungkin
4. Segala bentuk intervensi tidak boleh mengurangi nilai historis, estetis, dan keutuhan fisik benda cagar budaya.

2.2.3 Konservasi Tradisional

Konservasi tradisional merupakan kegiatan konservasi yang menggunakan bahan dan peralatan tradisional berdasarkan pada kearifan lokal (*local wisdom*) serta akumulasi pengalaman sebagai pengetahuan masyarakat setempat (*people*

knowledge). Kegiatan konservasi tradisional mengandung unsur bahan dan peralatan tradisional. Bahan tradisional adalah bahan yang diperoleh dari lingkungan setempat dan berdasarkan pengalaman yang diwariskan secara keturunan. Sedangkan peralatan tradisional adalah peralatan sederhana yang dihasilkan oleh masyarakat dengan menggunakan bahan yang didapatkan dari lingkungan sekitarnya (Wahyuningsih et al, 2016).

Pada umumnya pemeliharaan cagar budaya menggunakan metode tradisional masih dalam bentuk kebiasaan atau tradisi yang turun temurun, sebagian besar masih dikomunikasikan dalam bahasa lisan. Kebiasaan atau tradisi tersebut disebut juga sebagai *pre-scientifik knowledge*, yaitu pengetahuan masyarakat dalam bentuk mitos, kebiasaan, kepercayaan, dan tradisi. Dimana hal tersebut belum terbukti keilmiahannya. Metode konservasi tradisional yang masih bersifat *pre-scientifik knowledge* dapat diubah menjadi *scientific knowledge* dengan melakukan pembuktian secara ilmiah. Hal tersebut dapat dilakukan melalui proses penelitian, inventarisasi, kemudian melakukan pengujian di laboratorium melalui analisis (Swastikawati et al, 2012).



Proses konservasi secara umum terbagi dua yaitu konservasi menggunakan metode modern dan tradisional. Metode modern pada konservasi cagar budaya menggunakan bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan harus benar-benar dipertimbangkan segala konsekuensi dari hasil konservasi yang akan dilakukan. Mengingat cagar budaya tidak dapat tergantikan. Oleh karena itu, untuk tindakan yang dilakukan harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan hasilnya. Menggunakan bahan kimia juga dapat berakibat fatal pada cagar budaya. Akan tetapi, konservasi dengan bahan kimia sangat besar perannya dalam konservasi arkeologi (Santoso, 2006). Sedangkan konservasi dengan metode tradisional tidak dapat dilepaskan dari sistem pengetahuan masyarakat lokal. Berdasarkan pengetahuan itulah masyarakat mempraktekkan aspek-aspek konservasi yang khas didaerahnya. Konservasi tradisional meliputi semua upaya pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam oleh masyarakat tradisional baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam mempraktekkan kaidah-kaidah konservasi berkaitan dengan pengelolaan sumber daya alam guna kelestarian pemanfaatannya (Anonim, 2018).

2.2.4 Bahan Penyusun Struktur Benteng

Cagar budaya harus dilestarikan untuk kepentingan dimasa yang akan datang. Perlindungan cagar budaya dari pengaruh lingkungan yang berdampak negatif perlu dilakukan agar data arkeologi tidak musnah. Oleh sebab itu, terlebih dahulu perlu diperhatikan sifat-sifat dalam pelestarian cagar budaya berbahan batuan (Haryono, 2020). Batuan adalah kompleks atau kumpulan dari mineral sejenis atau tak sejenis yang terkait secara gembur ataupun padat. Bedanya dengan mineral, batuan tidak memiliki susunan kimiawi yang tetap, biasanya tidak homogen (Setiawan, 2020). Secara umum batuan terbagi atas tiga bagian, yaitu:

- Batuan beku, terbentuk sebagai akibat pembekuan magma dalam permukaan bumi, pipa magma, sill, dike, dan di atas permukaan bumi.
- Batuan sedimen, terbentuk sebagai akibat pengendapan material yang berasal dari pecahan, bongkah batuan yang hancur karena proses alam, kemudia terangkut oleh air, angin, es, dan terakumulasi dalam satu tempat, kemudian termampatkan/kompaksi menjadi satu lapisan batuan baru.
- Batuan melihan/metamorf, berasal dari batuan beku atau batuan sedimen yang termalihkan/terubah di dalam bumi sebagai akibat tekanan dan temperatur yang sangat tinggi yang mengakibatkan perubahan sifat fisik dan kimia dari batuan asal (Anonim, 2016).

Tabel 1. Jenis Batuan Sedimen Pada Struktur Benteng

No.	Jenis Batuan Sedimen	Keterangan
1.	Bata 	Bata adalah bahan bangunan populer yang terbuat dari tanah liat dicampur air, dicetak, dikeringkan, lalu dibakar pada suhu tinggi hingga keras, berwarna merah kecoklatan, dan kuat untuk konstruksi dinding, pondasi.
2.	Batuan Konglomerat 	Konglomerat hampir sama dengan breksi, yaitu memiliki butir 2 hingga 256 milimeter yang terdiri atas sejenis atau campuran rijang, kuarsa, granit dan lain-lain. Hanya saja fragmen yang menyusun batuan ini umumnya bulat. Pada konglomerat, terjadi proses transport pada mineral-mineralnya yang mengakibatkan fragmen-fragmennya memiliki bentuk yang membulat.

3.	Sand Stone 	Sand Stone atau batu pasir, terbentuk dari sementasi butiran-butiran pasir yang terbawa aliran sungai, angin, dan ombak dan akhirnya terakumulasi pada uatu temat.
4.	Graywacke 	Graywacke adalah salah satu tipe batu pasir yang 15% atau lebih komposisinya adalah matrix yang terbuat dari lempung, sehingga menghasilkan sortasi yang jelek dan batuan menjadi berwarna abu-abu gelap atau kehijauan.
5.	Vesicula textule 	Tekstur vesikuler menggambarkan batuan beku, seperti basalt, scoria, dan pumice, yang dipenuhi dengan rongga-rongga kecil berbentuk gelembung (vesikel) dari gas vulkanik yang terjebak dan melarikan diri dari lava saat mendingin, memberikan mereka penampilan berpori seperti keju Swiss.
6.	Imestone 	Imestone atau batu gamping adalah batuan sedimen yang memiliki komposisi mineral utama dari kalsit (CaCO_3).
7.	Batu gamping 	Batu gamping terumbu, batuan ini terbentuk akibat aktivitas dari coral atau terumbu pada perairan yang hangat dan dangkal.
8.	Gypsum 	Gypsum tersusun atas mineral gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Sama seperti dengan saltstone, batuan ini terbentuk karena kandungan uap air yang ada menguap. Tekstur dari batuan ini juga berupa kristalin.

(Sumber: Modul Laporan Konservasi Cagar Budaya)

2.2.5 Faktor Kerusakan Batuan

Sumber daya arkeologi yang terbuat dari bahan dasar batu sebagian besar terletak di tempat terbuka, yaitu berupa sumberdaya arkeologi yang tidak bergerak misalnya struktur benteng, makam, candi, pertirtaan, megalit (dolmen, menhir, kubur batu, jirat, nisan). Sedangkan yang terletak di museum berupa benda cagar budaya seperti arca, alat batu, dan jenis koleksi yang lain (susanti, 2007). Sumberdaya arkeologi tersebut harus dijaga kondisinya untuk generasi mendatang. Melindungi sumberdaya arkeologi dari faktor yang berdampak negatif terhadap bendanya

sangat diperlukan, sehingga data sejarah tersebut tidak akan terdegradasi dan akhirnya akan hancur. Adapun faktor yang memengaruhi kerusakan batuan yaitu faktor internal dan faktor eksternal.

a. Faktor Internal

Faktor internal merupakan faktor kelemahan bawaan yang menyatu di dalam Benda Cagar Budaya, tanah dasar, lokasi geografis, dan iklim setempat. Selain itu, faktor yang berkaitan dengan sifat-sifat alami bahan dasar yang digunakan untuk benda cagar budaya tersebut. Menurut Haryono, sifat-sifat yang perlu diperhatikan dalam pelestarian sumberdaya arkeologi yang berbahan batu adalah meliputi sifat fisik dan kimiawi. Sifat fisik batu antara lain berat jenis, kerapatan, porositas, permeabilitas, tekstur, struktur, dan kekuatan tekan, sedangkan sifat kimiawi adalah meliputi mineral-mineral yang mencakup senyawa-senyawa kimia sebagai contoh kwarsa (SiO_2), hematit (Fe_2O_3), dan batu kapur (CaCO_3) (Haryono, 2020).

b. Faktor Eksternal

Faktor eksternal merupakan faktor dari lingkungan benda cagar budaya berada. Berdasarkan sifatnya, faktor eksternal terbagi atas faktor alam (abiotik) dan faktor hayati (biotik). Faktor abiotik ialah faktor yang berasal dari unsur tak hidup. Dalam hal ini yang dimaksud adalah iklim (curah hujan, suhu, kelembapan, angin, sinar matahari, dan sebagainya). Sedangkan faktor yang berasal dari makhluk hidup (serangga, jamur, dan sebagainya).

2.2.6 Unsur Kerusakan Batuan

Faktor-faktor penyebab kerusakan yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat beberapa unsur yang menyebabkan kerusakan terhadap benda cagar budaya yaitu sebagai berikut:

a. Klimatologi

Kerusakan dan pelapukan benda cagar budaya sangat dipengaruhi oleh faktor klimatologi yang bekerja secara terus-menerus dan berulang dalam jangka waktu panjang. Unsur-unsur iklim seperti suhu, kelembapan udara, curah hujan, intensitas radiasi matahari, serta sirkulasi angin berperan penting dalam menentukan tingkat stabilitas material penyusun cagar budaya. Fluktuasi suhu harian dan musiman menyebabkan proses pemuaian dan penyusutan pada material batu, bata, maupun mortar, yang dalam jangka panjang memicu

terbentuknya retakan mikro dan melemahnya struktur permukaan. Kelembapan udara yang tinggi, terutama di wilayah beriklim tropis, mempercepat proses pelapukan fisik dan kimia melalui peningkatan kadar air pada pori-pori material, sehingga memperbesar risiko pelarutan mineral, kristalisasi garam, dan degradasi ikatan antarpartikel.

Curah hujan yang tinggi berkontribusi terhadap meningkatnya kontak langsung air dengan permukaan benda cagar budaya, yang tidak hanya mempercepat erosi dan pencucian unsur mineral, tetapi juga membawa polutan dan partikel organik yang dapat bereaksi secara kimia dengan material penyusun. Kondisi lembap yang berkepanjangan menciptakan lingkungan mikro yang ideal bagi pertumbuhan organisme biotik seperti lumut, alga, jamur, dan bakteri, yang selanjutnya mempercepat proses biodeteriorasi melalui aktivitas metabolisme dan pembentukan biofilm. Selain itu, paparan radiasi matahari yang intens, terutama pada permukaan yang menghadap langsung ke arah datangnya sinar matahari, dapat mempercepat degradasi permukaan melalui peningkatan suhu lokal dan pengeringan yang tidak merata, sehingga memicu stres termal pada material. Dengan demikian, faktor klimatologi tidak bekerja secara tunggal, melainkan saling berinteraksi membentuk kondisi iklim mikro yang sangat menentukan tingkat kerusakan dan pelapukan benda cagar budaya, baik secara fisik, kimia, maupun biologis.

b. Pembekuan air di dalam Batuan

Pembekuan air di dalam batuan merupakan salah satu mekanisme pelapukan fisik yang terjadi ketika air meresap ke dalam pori-pori, rekahan mikro, atau celah-celah batuan, kemudian mengalami perubahan fase menjadi es akibat penurunan suhu. Pada saat membeku, volume air meningkat hingga sekitar sembilan persen, sehingga menghasilkan tekanan internal yang signifikan terhadap dinding pori dan rekahan batuan. Tekanan ini menyebabkan pelebaran rekahan mikro secara bertahap dan melemahkan ikatan antarbutir mineral. Proses pembekuan dan pencairan yang berlangsung berulang kali, dikenal sebagai siklus beku-cair, mempercepat terjadinya disintegrasi batuan melalui pengelupasan permukaan, pengelontoran butiran mineral, hingga terbentuknya retakan yang lebih besar. Dalam konteks cagar budaya, mekanisme ini sangat berbahaya karena dapat merusak keutuhan material asli, terutama pada batuan yang bersifat porous atau telah mengalami pelapukan sebelumnya. Meskipun

fenomena pembekuan air lebih umum terjadi di wilayah beriklim sedang hingga dingin, prinsip mekanisme tekanan akibat perubahan volume air tetap relevan sebagai dasar pemahaman pelapukan fisik batuan pada berbagai kondisi lingkungan.

c. Mengkristalnya kandungan garam pada air

Mengkristalnya kandungan garam dalam air merupakan mekanisme pelapukan fisik dan kimia yang terjadi ketika air yang mengandung garam terlarut meresap ke dalam pori-pori dan rekahan batuan, kemudian mengalami penguapan. Seiring berkurangnya kadar air, ion-ion garam terlarut akan mengalami kejenuhan dan membentuk kristal garam di dalam ruang pori atau pada permukaan material. Proses kristalisasi ini menghasilkan tekanan kristal yang dapat mendorong dinding pori dan memperlemah ikatan antarbutir mineral. Tekanan yang terjadi berulang kali, terutama pada siklus basah–kering, menyebabkan pelebaran pori, pengelupasan permukaan, penggaraman serta disintegrasi material secara bertahap. Dalam konteks cagar budaya, kristalisasi garam sering ditemukan pada dinding batu, bata, dan mortar bangunan bersejarah, khususnya pada lingkungan dengan kelembapan tinggi, paparan air laut, air tanah, atau polusi. Akumulasi garam tidak hanya menimbulkan kerusakan struktural, tetapi juga mempercepat degradasi estetika permukaan, sehingga proses ini menjadi salah satu faktor utama penyebab pelapukan yang perlu diperhatikan dalam upaya konservasi dan pengelolaan cagar budaya.

2.2.7 Jenis Tumbuhan Tingkat Rendah

Tumbuhan tingkat rendah seperti lumut menjadi ancaman serius bagi struktur dinding Benteng Rotterdam karena pertumbuhan biologisnya dapat mempercepat pelapukan batu melalui penetrasi rizoid ke dalam pori-pori batuan, ekstraksi mineral, serta produksi asam organik yang merusak material. Selain itu, lumut meningkatkan kelembapan pada permukaan substrat sehingga mendukung komunitas mikroorganisme lain yang juga mempercepat degradasi material, serta dapat menjadi media awal bagi organisme perusak yang lebih cepat. (Tjitrosoepomo, 2019). Tumbuhan tingkat rendah yang berada di dinding benteng terdiri dari beberapa jenis yaitu:

a. Cendawan

Cendawan adalah jamur tingkat rendah yang tidak memiliki tubuh buah.

Ciri umum cendawan adalah tidak mempunyai zat hijau daun (*klorofil*) sehingga tidak mampu melakukan fotosintesis. Tumbuhan ini dapat dilihat dari tubuhnya yang tersusun dari banyak benang halus yang disebut hifa. Cara berkembang biak endawan umumnya menggunakan vegetative dengan hifanya, namun demikian ada juga jenis yang berkembang dengan cara generative menggunakan spora (Tjitrosoepomo, 2019).

b. Alga

Alga merupakan sekelompok organisme autotroph yang tidak memiliki organ seperti akar, batang dan daun. Morfologi Alga dapat berupa butiran, benang dan pita. Umumnya, alga berwarna hijau, namun beberapa jenis lain memiliki warna lain yakni fikocerin berwarna merah dan fikosianin berwarna biru (Tjitrosoepomo, 2019).

c. Lumut Kerak (*Lichen*)

Lumut kerak merupakan organisme simbiosis antara alga dan jamur, oleh karena itu sering disebut dengan lumut kerak. Tubuhnya belum terdiferensiasi menjadi akar batang dan daun, sehingga dimasukkan kedalam tumbuhan berthalus. Sebagai organisme hasil simbiosis antara algae dan jamur maka lichen tumbuh pada material organik dan anorganik (Tjitrosoepomo, 2019).

d. Lumut

Lumut adalah sekumpulan tumbuhan kecil yang termasuk dalam Bryophytina. Tumbuhan ini sudah menunjukkan diferensiasi tegas antara organ penyerap hara dan organ fotosintetik namun belum memiliki akar dan daun sejati (Tjitrosoepomo, 2019).

e. Tumbuhan paku atau paku-pakuan

Tumbuhan paku atau paku-pakuan adalah sekelompok tumbuhan dengan sistem pembuluh sejati, berkembangbiak menggunakan spora. Tubuhnya sudah terdiferensiasi menjadi akar dan daun tetapi belum sempurna (Tjitrosoepomo, 2019).

2.2.8 Jenis Tumbuhan Tingkat Tinggi

Tumbuhan tingkat tinggi merupakan kelompok tumbuhan yang telah mengalami diferensiasi organ secara sempurna, yaitu memiliki akar, batang, dan daun. Kelompok tumbuhan ini umumnya berkembang biak melalui biji maupun

tunas. Keberadaan tumbuhan tingkat tinggi pada kawasan cagar budaya dapat memengaruhi kondisi fisik tinggalan budaya, terutama apabila pertumbuhannya tidak terkendali (Tjitrosoepomo, 2019).

Rumput merupakan salah satu jenis tumbuhan tingkat tinggi yang sering dijumpai di area cagar budaya, khususnya pada bagian yang banyak mengandung unsur tanah. Unsur tanah tersebut umumnya berasal dari akumulasi debu, kotoran, serta material organik lainnya yang menempel pada permukaan struktur cagar budaya. Kondisi ini menciptakan media tumbuh yang mendukung perkembangan rumput (Tjitrosoepomo, 2019).

Selain rumput, pohon juga dapat tumbuh di kawasan cagar budaya. Pertumbuhan pohon biasanya disebabkan oleh biji yang terbawa oleh angin, binatang, maupun aktivitas manusia, seperti pembuangan sampah organik di sekitar situs. Oleh karena itu, penanaman pohon di sekitar cagar budaya perlu mempertimbangkan jenis tanaman yang digunakan. Pohon yang dipilih sebaiknya memiliki biji yang tidak mudah tersebar oleh angin atau hewan, sehingga dapat meminimalkan potensi pertumbuhan vegetasi yang tidak diinginkan dan mengurangi risiko kerusakan pada cagar budaya (Tjitrosoepomo, 2019).

Keberadaan vegetasi, khususnya tumbuhan tingkat tinggi, merupakan salah satu faktor yang dapat mempercepat terjadinya kerusakan pada cagar budaya. Secara umum, kerusakan pada cagar budaya disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal berkaitan dengan sifat alami bahan penyusun cagar budaya, sedangkan faktor eksternal berasal dari lingkungan di sekitarnya. Faktor eksternal tersebut dapat dibedakan menjadi faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor biotik mencakup aktivitas dan pertumbuhan organisme hidup, seperti mikroorganisme dan tumbuhan, sedangkan faktor abiotik meliputi kondisi cuaca, iklim, dan lingkungan fisik lainnya (Anonim, 2006). Kondisi cuaca yang ekstrem pada suatu wilayah secara umum dapat mempercepat proses pelapukan. Pelapukan yang terjadi pada batuan, dinding Benteng, maupun material kayu secara bertahap akan menyebabkan perubahan material menjadi tanah (Bahpari, 2006). Proses kerusakan dan pelapukan bahan sumberdaya arkeologi dapat dikelompokkan menjadi empat yaitu proses kerusakan secara mekanis, pelapukan secara fisis, pelapukan secara khemis, dan pelapukan secara biotis.

a. Kerusakan Mekanis

Kerusakan mekanis merupakan kerusakan yang terjadi pada bahan baku cagar budaya disebabkan oleh menurunnya kualitas bahan dasar cagar budaya. Kerusakan yang terjadi pada cagar budaya merupakan suatu proses fisik progresif yang dapat menyebabkan patahan, pecahan, retakan, runtuh, dan tekanan pembebanan volume dinding itu sendiri.

b. Pelapukan Biotis

Pelapukan biologis merupakan proses pelapukan yang disebabkan oleh tumbuh-tumbuhan, hewan atau manusia. Akar tumbuh-tumbuhan yang tumbuh pada sekitar dinding akan bertambah panjang dan dapat menembus lapisan dinding hal ini dapat menyebabkan kehancuran pada dinding tersebut. Cendawan atau lumut yang tumbuh menutupi permukaan dinding Benteng dapat menghisap makanan dari batu atau dari media yang menjadi tempat tumbuh mikroorganisme tersebut dan bisa menghancurkan susunan bahan dari dinding tersebut (Yanuardi, 2009).

Pelapukan Biotis merupakan pelapukan yang disebabkan oleh tumbuhnya mikroorganisme seperti pertumbuhan bakteri, jasad, dan serangan binatang berupa rayap (Munandar, 2010). Adanya pertumbuhan jasad akan menyebabkan munculnya noda pada bahan baku cagar budaya. Pelapukan biotis juga dapat disebabkan oleh tumbuhan tingkat rendah maupun tumbuhan tingkat tinggi (Susanti, 2007; Srivijayananta, 2008).

Pertumbuhan mikroorganisme ini dapat mempercepat terjadinya pelapukan pada bahan baku cagar budaya yang berbahan batuan. Pada musim kemarau mikroorganisme tersebut akan mengering sehingga menyebabkan terjadinya pengelupasan pada bahan baku cagar budaya (Susanti, 2016).

c. Pelapukan Fisis

Pelapukan fisis disebabkan oleh faktor fisik seperti air hujan, angin, suhu, kelembapan, dan penguapan yang menyebabkan terjadinya aus dan pengelupasan (Haldoko, 2014). Pelapukan fisis akan menyebabkan terjadinya kerusakan material pada cagar budaya. Hal ini disebabkan oleh adanya faktor fisis seperti air hujan, angin, suhu, kelembapan, dan penguapan. Adapun gejala-gejala yang dapat dilihat seperti retak, pecah-pecah pada kayu, melengkung, mengelupas, dan lain-lain (Munandar, 2010).

d. Pelapukan Khemis

Pelapukan khemis merupakan pelapukan yang terjadi pada material cagar budaya disebabkan oleh proses atau reaksi kimiawi. Dalam proses ini faktor yang berperan adalah air, suhu, dan penguapan. Air hujan dapat menyebabkan terjadinya pelapukan pada benda melalui proses oksidasi, karbonatisasi, sulfatasi, dan hidrolisa. Pelapukan ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna, penggaraman, pelapukan batu menjadi tanah, korosi, dan sebagainya (Munandar, 2010).

Pelapukan secara khemis yang terjadi pada bahan baku (batu) pada umumnya disebabkan oleh proses hidrolisa, oksidasi, karbonasi, hidrasi, atau reaksi kimia yang lebih kompleks. Pelapukan yang terjadi secara hidrolisa yaitu disebabkan karena adanya reaksi antara ion H^+ dan OH^- dari air atau H_2O dengan unsur-unsur atau ion-ion yang terdapat didalam batuan atau mineral. Hidrolisa dalam pelapukan khemis sangat tergantung pada banyak air yang ada serta tingkat keasamannya. Selain terlibat langsung dalam reaksi hidrolisa, air juga berfungsi sebagai bahan pelarut bahan hasil pelapukan batuan.

2.2.9 Minyak Atsiri

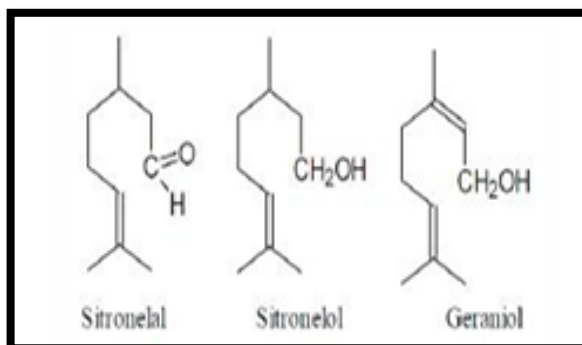
Minyak atsiri dikenal juga dengan nama minyak eteris (*ethereal oil, volatile oil*) yang dihasilkan dari tumbuhan. Minyak atsiri bersifat mudah menguap tanpa mengalami dekomposisi, berbau wangi sesuai bau tumbuhan penghasilnya, memiliki rasa getir, umumnya larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air. Minyak atsiri juga bersifat antibakteri dan antijamur yang kuat (Pratama, 2016). Komponen utama pada minyak mawar yang berupa cairan berwarna kuning pucat mengandungi *geraniol*, *phenyl ethyl alcohol*, dan *sitronellool*. Komponen utamanya adalah sisa metabolisme tanaman mawar dan mempunyai peran ganda, seperti menarik serangga ataupun mengusir serangga (Damayanti, 2012). *Phenyl Ethyl Alcohol* (PEA) merupakan cairan tidak berwarna, beraroma, dan digunakan sebagai bahan baku pembuatan parfum untuk aroma bunga mawar, ilang-ilang, jeruk, dan lili. Senyawa ini juga digunakan untuk bahan antibakteri, disinfektan, dan pengawet (Sari dkk, 2023).

Minyak atsiri adalah salah satu metabolit sekunder dari tanaman yang berbentuk minyak dengan karakteristik yaitu mudah menguap (*volatile*). Kandungan utama dari minyak atsiri yang dimiliki hampir seluruh tanaman adalah

terpen, aseton, fenol, aldehid, alkohol, ester, asam. Minyak atsiri adalah cairan aromatik berminyak yang diekstrak dari bahan tanaman aromatik. Minyak atsiri biasanya tidak berwarna, terutama saat segar. Namun seiring bertambahnya usia minyak atsiri dapat teroksidasi yang mengakibatkan warnanya menjadi lebih gelap. Oleh karena itu, minyak atsiri perlu disimpan di tempat yang sejuk dan kering dengan tutup rapat dan sebaiknya diisi dengan wadah kaca amber (Rassem et al., 2016).

Minyak atsiri dari tanaman aromatik mengandung senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai bahan baku insektisida. Minyak atsiri serih wangi (*Andropogon nardus*) dari tanaman aromatik bersifat insektisida yang mengandung senyawa benzen dan gugus hidroksil, serta berperan sebagai pestisida nabati. Selain itu, minyak atsiri serih wangi harganya murah dan memiliki efektivitas tinggi, serta ramah terhadap manusia dan lingkungan (Wahyuni 2021).

Menurut Burdock (2002) senyawa utama minyak serih wangi adalah sitronellal, geraniol dan sitronellol. Dalam fraksi minyak atsiri dari tanaman *Andropogon nardus* terdapat senyawa sitronelal, sitronelol, limonene, linalool (Lorenzo et al., 2000). Sitronellal dengan rumus kimia $C_{10}H_{16}O$ yang memiliki nama kimia 3,7-dimetyl-6-octenal merupakan cairan yang tak berwarna yang memiliki bau seperti minyak tawon dari golongan senyawa monoterpen. Sitronellal bersifat optik karena mempunyai pusat khiral pada atom C_3 (Hardjono, 1994). Geraniol ($C_{10}H_{18}O$) yang memiliki nama kimia 3,7-Dimethylocta-2,6-die-1-ol merupakan persenyawaan yang terdiri dari 2 molekul isoprene dan 1 molekul air. Geraniol dapat dioksidasi menjadi sitral. Sitronellol, 3,7-dimethyloct-6-en-1-ol, atau sering disebut juga dihydrogeraniol adalah suatu monoterpenoid alami dengan formula $C_{10}H_{20}O$ yang diperoleh dari minyak serih wangi. Struktur dari senyawa sitronellal, geraniol dan sitronellol dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Struktur Sitronelal, Sitronelol, dan Geraniol
(Sumber: Kadarohman, 2009)

Berbagai jenis tanaman di Indonesia dan kawasan tropis diketahui menghasilkan minyak atsiri dengan karakteristik dan kegunaan yang beragam, antara lain kunyit (*Curcuma longa*) (Anggraeni et al., 2023), sereh wangi (*Cymbopogon nardus*) (Ruwindya, 2019), daun sirih hijau dan merah (*Piper betle* dan *Piper crocatum*) (Saraswati et al., 2018), kulit buah langsung (*Lansium domesticum*) (Mayanti, 2010; Nuryani, 2015), bawang putih (*Allium sativum*) (Taupik et al., 2021), bunga melati (*Jasminum Sp.*) (Dillo et al., 2019), cengkeh (*Syzygium aromaticum*) (Margareta & Wonorahardjo, 2023), daun kelor (*Moringa oleifera*) (Fitriana, 2017), kapulaga (*Elettaria cardamomum*) (Fachriyah & Sumardi, 2007), daun insulin (*Tithonia diversifolia*) (Fauzi'ah & Hajati, 2020), kenanga (*Cananga odorata*) (Supartono, 2014), daun salam (*Syzygium polyanthum*) (Sumono & Wulan, 2009), jahe merah (*Zingiber officinale var. rubrum*) (Marwati dkk., 2021), kulit jeruk bali (*Citrus maxima*) (Megawati dan Murniyawati, 2015), lavender (*Lavandula Sp.*) (Virgiliou dkk, 2021), lada hitam (*Piper nigrum*) (Nie dkk, 2023), serta pala (*Myristica fragrans*) (Guntur dkk, 2019), yang secara umum mengandung senyawa *terpenoid*, *fenolik*, dan *metabolit volatil* seperti *eugenol*, *sitral*, *linalool*, *citronellal*, *geraniol*, *thymol*, dan *carvacrol* yang berfungsi sebagai antimikroba, antijamur, antioksidan, aromatik, dan bahan industri farmasi, kosmetik, serta pangan.

Namun dari banyaknya jenis minyak atsiri tersebut, penelitian ini secara khusus memilih minyak atsiri sereh wangi karena memiliki aktivitas antijamur dan antilumut yang kuat, kandungan senyawa aktif yang efektif seperti *sitronelal*, *sitronelol*, dan *geraniol*, serta ketersediaan bahan baku yang melimpah dan biaya

produksi yang relatif lebih murah, sehingga lebih realistis dan aplikatif untuk digunakan dalam konteks konservasi dan pengendalian pertumbuhan lumut pada material cagar budaya. Minyak atsiri paling efektif diaplikasikan pada material berpori seperti batu dan bata, karena mikroorganisme perusak, termasuk lumut, tumbuh dan berkolonisasi di dalam pori-pori substrat tersebut. Pada material non-pori seperti logam dan permukaan berlapis cat, efektivitas minyak atsiri menjadi terbatas karena organisme hanya melekat di permukaan tanpa penetrasi ke dalam material.

Penggunaan minyak atsiri pada struktur dinding cagar budaya memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan bahan kimia sintetis, terutama karena sifatnya yang lebih ramah terhadap material dan lingkungan. Minyak atsiri tersusun dari senyawa alami yang mudah terurai dan umumnya tidak meninggalkan residu berbahaya, sehingga risiko akumulasi bahan kimia pada pori-pori batu dan mortar dapat diminimalkan. Selain itu, banyak senyawa aktif dalam minyak atsiri, seperti *citral*, *eugenol*, dan *thymol*, bekerja secara selektif merusak membran sel mikroorganisme tanpa menyerang struktur mineral batu, sehingga efektif mengendalikan lumut, alga, dan jamur tanpa mempercepat pelapukan fisik atau kimia dinding. Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas aplikasinya yang dapat dilakukan dengan metode semprot, kuas, atau kompres, serta kesesuaiannya dengan prinsip konservasi berkelanjutan karena memanfaatkan sumber daya hayati lokal dan mengurangi ketergantungan pada biocide sintetis yang berpotensi berbahaya bagi konservator dan lingkungan sekitar (Ariantika, 2024).

Proses pembuatan larutan minyak atsiri sereh wangi 10% untuk pengendalian tumbuhan tingkat rendah dibutuhkan 3 bahan yang terdiri dari minyak atsiri Sereh Wangi, tween 80, dan Aquadest. Adapun takaran untuk campuran tersebut minyak sereh wangi 10%, tween 80 5% yang dapat diplotkan dalam sebuah perhitungan:

Asumsi: 1 Liter = 1000 mL Larutan

Sehingga dibutuhkan:

- Minyak sereh wangi 10% = $10/100 \times 1000 \text{ mL} = 100 \text{ mL}$
- Tween 5% = $5/100 \times 1000 \text{ mL} = 50 \text{ mL}$
- Aquadest = $(1000 - 100 - 50) \text{ mL} = 850 \text{ mL}$

Tabel 2. Luasan Kebutuhan Minyak Atsiri 10%

Luasan (m ²)	Volume kebutuhan (mL)	Kebutuhan Membuat Minyak Atsiri Sereh Wangi 10%		
		Minyak Atsiri Sereh Wangi (mL)	Tween 80 (mL)	Aquadest (mL)
1	800	80	36	684
2	1,600	160	72	1,368
10	8,000	800	360	6,840
20	16,000	1600	720	13,680

(Sumber: Laporan Konservasi Cagar Budaya, 2023)

$$U_n = a + (n - 1) d$$

Keterangan:

a: suku pertama

d: beda (= 800 ml)

n: nomor suku (= luasan, m²)

Berdasarkan aplikasi penggunaan bahan di lapangan yang dikaitkan dengan luasan yang dapat dibersihkan diperoleh hasil bahwa untuk 1 m² (meter bujur sangkar) membutuhkan 800 mL larutan minyak atsiri sereh wangi 10 % terdiri dari 80 mL minyak atsiri sereh wangi, larutan tween 80 sebanyak 36 mL, dan Aquadest sebanyak 684 mL. Sehingga, untuk mengetahui volume kebutuhan (mL) dapat diestimasi dengan menggunakan rumus Aritmatika (lihat tabel 2).

Tabel 3. Harga Kebutuhan Minyak Atsiri Per Liter

Nama Bahan	Harga per Liter
Minyak Sereh Wangi	Rp. 275.000,-
Minyak Cengkeh	Rp. 750.000,-
Tween 80	Rp. 350.000,-
Aquadest	Rp. 11.000,-

Tabel 4. Rencana Biaya Kebutuhan Minyak Atsiri Menggunakan Sereh Wangi

Luas (m ²)	Volume Kebutuhan (ml)	Kebutuhan Membuat Minyak Atsiri i 10%			Analisa Harga Bahan		Analisa Harga Bahan	
		Minyak Atsiri (mL)	Tween 80 (mL)	Aqua dest (mL)	Minyak Sereh Wangi / (mL), Rp. 275,-	Total Biaya yang Dibutuhkan	Minyak Cengkeh/ (mL), Rp. 750,-	Total Biaya yang Dibutuhkan
1	800	80	36	684	Rp 22,000,-	Rp 42,124,-	Rp 60,000	Rp 80,124,-
2	1,600	160	72	1,368	Rp 44,000,-	Rp 84,248,-	Rp120,000	Rp 160,248,-
10	8,000	800	360	6,840	Rp 220,000,-	Rp 421,240,-	Rp600,000	Rp 801,240,-
20	16,000	1600	720	13,680	Rp 440,000,-	Rp 842,480,-	Rp1,200,000	Rp 1,602,480,-

(Sumber: Indah Aslinda, 2023)

Perkiraan biaya yang dibutuhkan jika menggunakan minyak atsiri dari minyak sereh wangi dan minyak cengkeh. Langkah awal untuk membuat rencana perkiraan biaya diawali dengan pengecekan harga pada toko supplier bahan kimia yaitu CV. Intraco Jalan Gunung Latimojong N0. 138 Kota Makassar. Diketahui harga beberapa bahan tersebut yaitu minyak sereh wangi Rp 275.000,- per Liter; minyak cengkeh Rp. 750.000,- per Liter; Tween 80 Rp 350.000,- dan Aquadest Rp. 11.000,- per Liter. Perbandingan rencana biaya tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Dari sisi estimasi biaya, minyak atsiri sereh wangi memiliki keunggulan ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan minyak atsiri cengkeh. Tanaman sereh wangi dapat dipanen dalam waktu relatif singkat dan berulang kali sepanjang tahun, dengan produktivitas biomassa yang tinggi, sehingga pasokan bahan bakunya lebih stabil dan biaya produksi minyaknya lebih rendah. Sebaliknya, bahan baku cengkeh bergantung pada musim panen bunga yang relatif lebih lama dan fluktuatif, serta bersaing dengan kebutuhan industri rokok dan farmasi, sehingga harga minyak atsiri cengkeh cenderung lebih mahal dan tidak stabil. Selain itu, rendemen minyak sereh wangi cukup tinggi dan proses destilasinya lebih sederhana, sehingga biaya energi dan waktu produksi menjadi lebih efisien. Oleh karena itu, dari perspektif keberlanjutan dan keterjangkauan, minyak atsiri sereh wangi lebih ekonomis dan lebih sesuai untuk aplikasi konservasi berskala lapangan dibandingkan minyak atsiri cengkeh.

2.3 Kerangka Pikir

Kebudayaan material memiliki keterkaitan erat dengan tinggalan-tinggalan arkeologis yang menjadi bukti aktivitas manusia pada masa lampau. Tinggalan tersebut mencerminkan kekayaan arkeologi Indonesia yang beragam, meliputi kawasan, situs, ekofak, fitur, dan artefak. Situs arkeologi dipahami sebagai tempat atau kelompok tinggalan fisik yang menunjukkan adanya aktivitas manusia di masa lalu dan dapat dikaji melalui pendekatan ilmu arkeologi. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010. Situs Cagar Budaya didefinisikan sebagai lokasi di darat dan/atau di perairan yang mengandung benda, dan/atau struktur cagar budaya sebagai hasil aktivitas manusia atau bukti peristiwa pada masa lalu.

Salah satu situs arkeologi yang memiliki nilai penting adalah Kompleks Benteng Rotterdam. Kompleks ini mengandung nilai warisan budaya yang tinggi,

mencakup aspek historis, arsitektural, estetis, serta nilai kelangkaan. Sebagai situs cagar budaya, Benteng Rotterdam rentan mengalami penurunan kualitas material akibat berbagai faktor lingkungan, baik biotik maupun abiotik. Oleh karena itu, diperlukan upaya pelestarian yang terencana, salah satunya melalui kegiatan konservasi, yang bertujuan untuk menghambat atau mencegah terjadinya kerusakan pada bahan penyusun struktur bangunan.

Konservasi merupakan tindakan perlindungan terhadap warisan budaya agar tetap dapat dimanfaatkan oleh generasi masa kini dan generasi mendatang. Dalam konteks konservasi struktur berbahan batu, salah satu permasalahan utama yang sering dihadapi adalah pertumbuhan lumut. Pertumbuhan lumut pada permukaan batu dapat mempercepat proses pelapukan dan menurunkan kualitas fisik maupun estetika bangunan. Oleh karena itu, diperlukan metode pengendalian yang efektif sekaligus berwawasan lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah penggunaan herbisida alami yang berasal dari bahan alam.

Kemampuan bahan alam dalam mengendalikan pertumbuhan lumut dipengaruhi oleh kandungan senyawa aktif metabolit sekunder yang dimilikinya. Terpenoid merupakan salah satu kelompok metabolit sekunder yang banyak ditemukan pada tumbuhan, baik pada bagian akar, batang, kulit kayu, ranting, biji atau buah, maupun daun (Achmad, 1986). Minyak atsiri termasuk ke dalam golongan terpenoid yang bersifat mudah menguap dan dikenal memiliki aktivitas biologis yang beragam.

Minyak atsiri sereh wangi diketahui mengandung senyawa sitronellal, geraniol, dan sitronellol (Burdock, 2002). Sitronellol, yang juga dikenal sebagai dihydrogeraniol, merupakan senyawa monoterpenoid yang berperan sebagai agen antimikroorganisme. Menurut Harborne (1987), sebagian besar senyawa antimikroba yang berasal dari tumbuhan merupakan metabolit sekunder, khususnya dari golongan fenolik dan terpenoid. Senyawa-senyawa tersebut bekerja dengan cara merusak struktur sel, mengganggu sistem transport aktif, serta mengacaukan keseimbangan proton pada membran sitoplasma, sehingga menghambat metabolisme atau menyebabkan kematian sel mikroorganisme.

Selain sereh wangi, minyak atsiri cengkeh juga memiliki potensi sebagai agen pengendali mikroorganisme. Penelitian Zanellato et al. (2009) menyebutkan bahwa komponen utama tanaman cengkeh adalah eugenol. Senyawa ini termasuk ke dalam kelompok minyak volatil yang bersifat korosif dan berbau tajam, sehingga

efektif dalam menghambat dan mematikan mikroorganisme (Cahyandaru, 2010). Kandungan eugenol dalam minyak atsiri cengkeh menjadikannya salah satu bahan alami yang potensial untuk diaplikasikan dalam kegiatan konservasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan pada aplikasi minyak atsiri sereh wangi dalam kajian konservasi struktur dinding Benteng Rotterdam, khususnya untuk pengendalian pertumbuhan lumut pada batuan. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh rekomendasi bagi instansi terkait mengenai penggunaan bahan alternatif yang lebih aman, ramah lingkungan, dan efektif dalam keterawatan dinding batu Benteng Rotterdam sebagai Situs Cagar Budaya. Berikut bagan alur penelitian yang dilakukan di dinding benteng Rotterdam Makassar dapat dilihat dibawah ini:

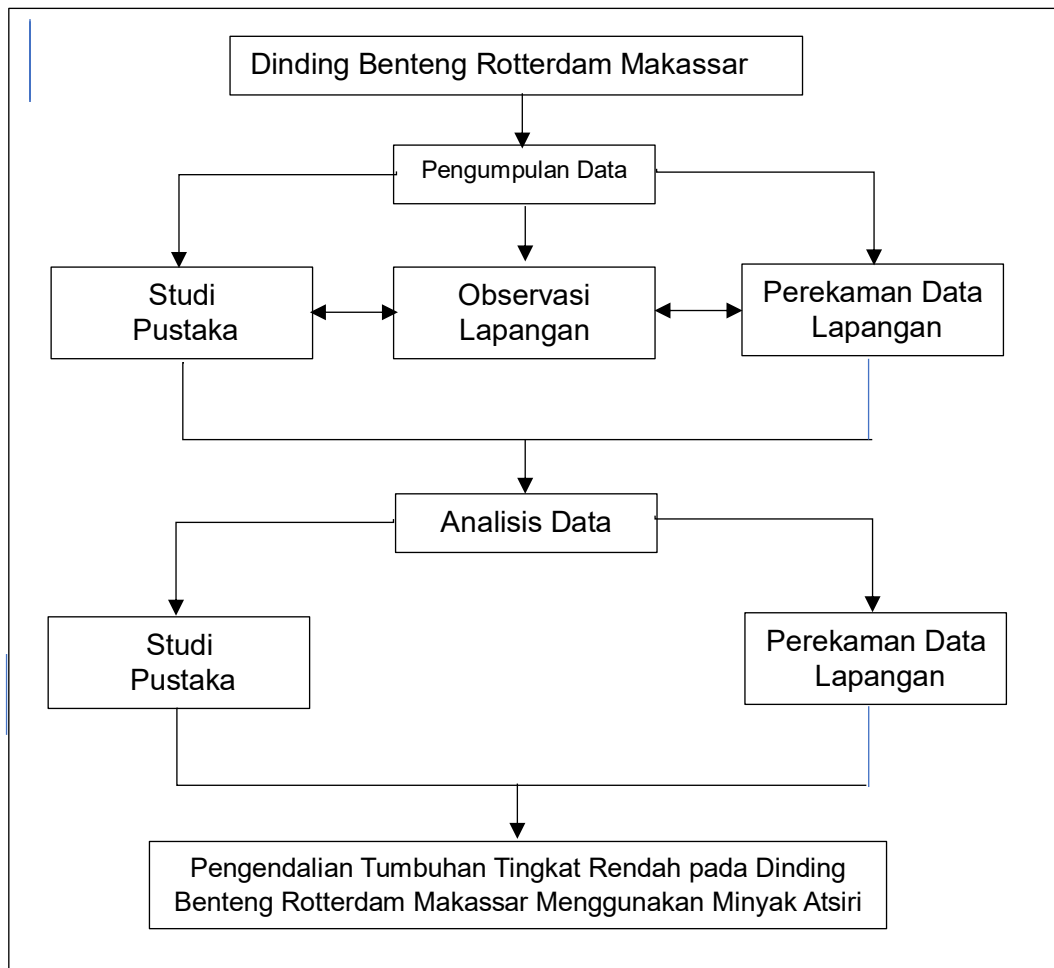


Diagram 1. Bagan Alur Penelitian
(Sumber: Indah Aslinda, 2022)