

Buku nadir ialah naskhah lama yang disimpan kerana memiliki nilai sejarah yang tinggi. Antaranya termasuklah manuskrip kuno atau edisi pertama sesuatu karya yang hanya dicetak dalam jumlah yang terhad. Nilai buku nadir bergantung pada kandungan, keadaan fizikal, usia dan hubungannya dengan sesuatu peristiwa penting dalam sejarah. Pada kebiasaannya, buku nadir berada dalam koleksi simpanan perpustakaan negara, universiti, muzium atau arkib, kedai buku antik atau koleksi peribadi.

Keadaan buku nadir biasanya mempunyai kerosakan fizikal seperti kertas yang usang, dakwat atau warna cetakan yang pudar dan bahan penjilidan menjadi rapuh. Serangan serangga, kulat atau mikroorganisma yang memakan kertas pula menjadi penyebab kerosakan fizikal buku ini. Keadaan suhu dan kelembapan yang ekstrem juga mengundang pertumbuhan mikroorganisma dan kulat yang menyebabkan kerosakan pada kertas. Pencahayaan yang kurang sesuai, terutamanya sinaran ultralembayung yang melampau turut memudarkan tulisan atau gambar pada buku.

Teknologi Nuklear dalam Konservasi Buku Nadir

Mikroorganisma dan kulat seperti *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Cladosporium* menjadikan buku nadir sebagai habitat dan jika terdedah boleh menyebabkan masalah kesihatan kepada manusia. Gejala alahan seperti kegatalan dan ruam pada kulit boleh berlaku pada individu yang kerap bersentuhan dengan buku yang dicemari oleh mikroorganisma dan kulat. Spora kulat yang terlepas ke udara juga menyebabkan gangguan saluran pernafasan seperti radang paru-paru serta bronkitis atau masalah pernafasan kronik. Terdapat juga keadaan tertentu terhadap individu yang terdedah kepada situasi ini mengalami sakit kepala dan kerengsaan mata, hidung atau tekak.

Kaedah yang biasa digunakan untuk menyahkan mikroorganisma dan kulat dikenali sebagai disinfeksi. Disinfeksi buku nadir boleh dilakukan dengan cara pencucian secara fizikal dengan menggunakan kain lembut dan penyedut hampagas. Terdapat juga teknik rawatan kriogenik, iaitu mikroorganisma, serangga dan kulat dibunuh pada suhu beku, manakala teknik fumigasi melibatkan buku nadir diletakkan di dalam bekas yang mempunyai bahan gas beracun pada keadaan persekitaran yang terkawal. Walaupun berkesan, kaedah ini meninggalkan sisa toksik yang berbahaya kepada manusia dan buku nadir itu sendiri.

Pendedahan kepada keadaan ekstrem seperti suhu beku pula berisiko sehingga merosakkan kertas yang usang dan rapuh serta menjejaskan kualiti dakwat. Oleh hal yang demikian, penyinaran gama merupakan alternatif yang lebih selamat untuk memastikan disinfeksi yang berkesan tanpa memberikan kesan negatif kepada buku nadir.

Proses Disinfeksi Menggunakan Sinaran Gama

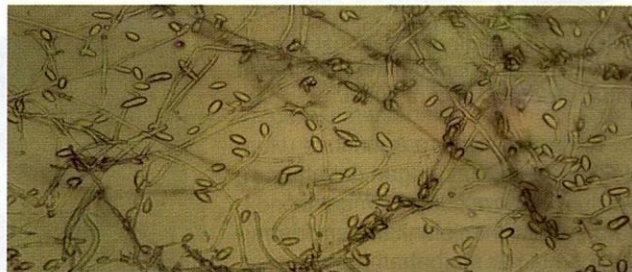
Proses disinfeksi menggunakan sinaran gama yang dipancarkan daripada punca radioaktif kobalt-60 atau sesium-237 mampu menembusi lapisan kertas yang agak tebal dan membunuh bakteria, serangga atau kulat yang berada dalam buku nadir. Kelebihan teknik ini ialah tiada sebarang sentuhan fizikal pada buku nadir semasa proses disinfeksi dilakukan. Kuasa penembusan sinaran gama

yang tinggi membolehkan proses tersebut dilakukan secara pukal dan kawasan yang disinfeksi lebih menyeluruh. Teknik ini lebih selamat dan pantas kerana dilakukan oleh mesin penyinaran gama serta tidak melibatkan penggunaan bahan kimia atau racun yang berbahaya.

Banyak negara Eropah telah melakukan penyinaran gama untuk disinfeksi bahan sejarah warisan, arkib dan buku. Sebagai contoh, Romania telah menggunakan penyinaran gama untuk memulihkan bahan arkib termasuklah artifak. Penekanan diberikan pada pemprosesan penyinaran dalam skala yang besar dengan keberkesanan yang tinggi, khususnya untuk memerangi gejala kulat. Teknik ini juga sesuai untuk disinfeksi pelbagai jenis bahan seperti kertas, kayu dan tekstil.

Di Jepun pula, kaedah ini digunakan untuk memelihara manuskrip penting daripada ancaman serangga dan mikroorganisma. Selepas taufan Hagibis pada tahun 2019, dokumen sejarah di Fukushima yang rosak akibat banjir telah dirawat dengan menggunakan penyinaran gama. Dokumen lembap dan tercemar dengan kulat seperti *Trichoderma*, *Stachybotrys* dan *Fusarium* berjaya dibasmikan dengan menggunakan penyinaran gama.

Kedua-dua contoh ini membuktikan kepentingan dan keberkesanan teknologi nuklear dalam memastikan bahan sejarah selamat daripada ancaman mikroorganisma kerana kaedah sinaran gama tidak merosakkan sifat asal manuskrip atau artifak.



Imej mikroskopik menunjukkan hifa berseptum dan spora kulat yang dihasilkan oleh kulat berfilamen. Struktur halus ini menjadi petunjuk penting dalam mengenal pasti spesies kulat (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*) yang sering menyerang bahan organik termasuklah koleksi buku nadir.



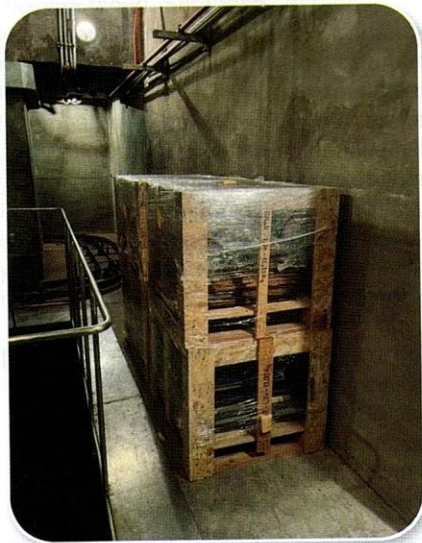
Latihan amali penyelidik Agensi Nuklear Malaysia bersama-sama koleksi buku nadir di National Library of Romania, Romania.



dalam dos yang tertentu. Cara ini dapat menentukan dos yang sesuai bagi penyinaran gama ke atas buku nadir. Ketahanan kertas terhadap sinaran gama telah dianalisis dengan menggunakan spektrometer warna bagi menilai perubahan warna kertas dan dakwat, pembelauan sinar-X bagi menilai struktur selulosa dan analisis transformasi Fourier inframerah bagi melihat perubahan struktur kimia pada kertas yang telah disinarkan. Hasil kajian menunjukkan bahawa dos antara enam kiloGray (kGy) hingga 10 kGy berkesan memusnahkan mikroorganisma tanpa memberikan kesan buruk kepada struktur dan warna kertas serta dakwat.

Kaedah Disinfeksi Buku Nadir Menggunakan Sinaran Gama dan Penilaian Keberkesannya

Sampel mikroorganisma yang terdapat pada buku nadir diambil secara rawak dengan kaedah calitan sebelum disinarkan dengan sinaran gama. Setiap buku nadir diletakkan ke dalam plastik dan dikedapkan selepas pensampelan. Bekas plastik digunakan bertujuan untuk melindungi dan mengelakkan kontaminasi radioaktif ke atas buku nadir setelah penyinaran dilakukan. Buku nadir kemudiannya diletakkan di dalam kotak untuk ditimbang beratnya



Koleksi buku nadir dari National Library of Romania di dalam bunker penyinaran untuk disinfeksi secara pukal.

penyinaran bahan selulosa di Pusat Penyinaran SINAGAMA, Agensi Nuklear Malaysia. Pada tahun 2024, penyinaran gama bagi disinfeksi buku nadir telah dijalankan untuk kali yang pertama. Melalui prosedur tersebut, sejumlah 341 buah buku nadir dari Perpustakaan Muzium Perak telah berjaya disinfeksi.

Kajian Kesan Penyinaran

Kajian awal telah dijalankan dengan menyinaran sinaran gama ke atas selulosa tulen, kertas kosong, kertas bercetak dan kertas buku lama. Tujuan kajian adalah untuk meneliti tahap kerosakan yang mungkin berlaku ke atas kertas apabila disinarkan



Buku dikedapkan di dalam bekas plastik bagi mengelakkan kontaminasi radioaktif berlaku setelah penyinaran dilakukan.

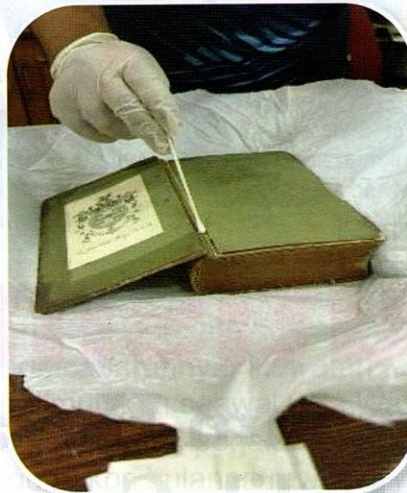


Setiap kotak ditimbang untuk mendapatkan ketumpatan yang hampir setara.

Kerjasama antara Agensi Nuklear Malaysia dengan Jabatan Muzium Negara telah membantu para kurator menjalankan pencirian dan pemuliharaan bahan artifak sejarah. Penyelidikan awal terhadap keupayaan dan kesan penyinaran terhadap selulosa kertas yang bermula pada tahun 2022 telah menghasilkan prosedur bagi



Dosimeter *ceric-cerous* dilekatkan pada sekeliling permukaan kotak bagi mendapatkan bacaan pemetaan dos.



Pensampelan mikroorganisma dengan menggunakan kaedah calitan dilakukan secara rawak.



Tiada pembiakan mikroorganisma kelihatan pada sampel yang telah disinarkan.

bagi mengira ketumpatan untuk memastikan penembusan sinaran gama yang sekata. Buku nadir seterusnya didedahkan kepada dos radiasi yang sesuai digunakan bagi proses disinfeksi. Proses dedahan sinaran gama dilaksanakan dalam masa yang singkat. Pemetaan dos telah dilakukan bagi mengesahkan bahawa dos yang ditetapkan telah menembusi semua buku nadir di dalam kotak.

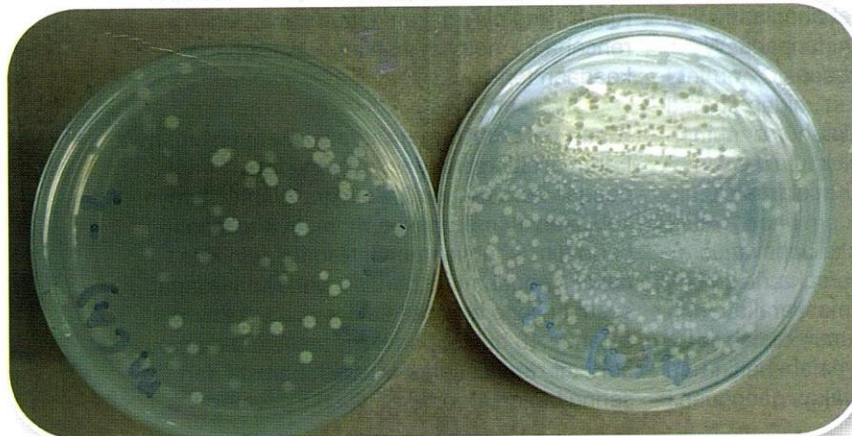
Ujian mikrobiologi dilakukan ke atas semua buku nadir dan tiada bukti pertumbuhan mikroorganisma selepas penyinaran. Analisis lanjut turut dijalankan untuk memastikan keutuhan buku nadir dari aspek warna, morfologi dan komposisi kimia. Hasil penilaian keutuhan menunjukkan bahawa tiada perubahan ketara yang merosakkan berlaku,

sekali gus membuktikan kaedah penyinaran gama ke atas buku nadir menghapuskan sepenuhnya semua mikroorganisma.

Penyinaran gama merupakan contoh teknologi nuklear yang boleh dimanfaatkan untuk melindungi warisan budaya. Melalui kajian yang teliti dalam penggunaan teknologi nuklear, buku nadir dapat diselamatkan daripada ancaman kerosakan yang serius.

Usaha ini menunjukkan komitmen kita dalam memelihara khazanah budaya untuk diwariskan kepada generasi masa hadapan. Penyinaran buku nadir dengan sinaran gama merupakan inovasi dalam bidang konservasi budaya dan warisan untuk memastikan ilmu dan seni yang terkandung di dalamnya dapat terus dimanfaatkan.®

Nadira Kamarudin,
Pegawai Penyelidik,
Agensi Nuklear Malaysia.



Mikroorganisma yang dikultur sebelum penyinaran.