Pelestarian Digital: Bom Waktu untuk Perpustakaan Digital

Abstrak

Kesulitan dan biaya pengawetan informasi digital merupakan potensi hambatan bagi pengembangan perpustakaan digital. Pelestarian bahan tradisional menjadi lebih berhasil dan sistematis setelah perpustakaan dan arsip mengintegrasikan pelestarian ke dalam perencanaan dan alokasi sumber daya secara keseluruhan. Pengawetan digital sebagian besar bersifat eksperimental dan penuh dengan risiko yang terkait dengan metode yang belum teruji. Strategi pelestarian digital dibentuk oleh kebutuhan dan batasan repositori dengan sedikit pertimbangan untuk persyaratan pengguna sumber daya ilmiah digital saat ini dan di masa depan. Artikel ini membahas kondisi pelestarian digital saat ini, mengartikulasikan persyaratan pengguna dan penjaga, dan menyarankan kebutuhan penelitian di media penyimpanan, migrasi, konversi, dan strategi manajemen secara keseluruhan. Penelitian tambahan di bidang ini akan membantu pengembang perpustakaan digital dan lembaga lain dengan tanggung jawab pelestarian untuk mengintegrasikan pelestarian jangka panjang ke dalam perencanaan program, administrasi, arsitektur sistem, dan alokasi sumber daya.

Tantangan Pelestarian Digital

**Tujuan pelestarian adalah untuk melindungi informasi yang bernilai abadi untuk diakses oleh generasi sekarang dan masa depan** (Conway, 1990: 206). Perpustakaan dan arsip telah berfungsi sebagai pusat fokus kelembagaan untuk pelestarian, dan kedua jenis lembaga tersebut memasukkan pelestarian sebagai salah satu fungsi inti mereka. Dalam beberapa dekade terakhir, banyak perpustakaan dan arsip besar mendirikan program **pelestarian formal untuk bahan tradisional dalam bentuk kertas, mikroform, fotografi, dan format audio-visual tingkat yang lebih rendah. Program pelestarian meliputi administrasi dan komponen teknis, seperti mempekerjakan staf dengan keahlian dalam administrasi pengawetan, menggunakan tindakan pencegahan untuk menahan kerusakan bahan, mengambil tindakan perbaikan untuk memulihkan kegunaan bahan yang dipilih, dan memasukkan kebutuhan dan persyaratan pengawetan ke dalam perencanaan program dan alokasi sumber daya secara keseluruhan. Pelestari dalam perpustakaan dan komunitas arsip telah berperan penting dalam mengembangkan berbagai alat dan metodologi untuk mengurangi pembusukan bahan tradisional dan untuk memulihkan buku dan dokumen yang telah rusak sedemikian rupa sehingga umur panjang dan kegunaannya terancam. Ketentuan untuk proteksi kebakaran dan pengendalian lingkungan yang memadai sering kali dimasukkan ke dalam perpustakaan baru dan fasilitas arsip. Rehousing bahan kertas berbasis asam adalah tugas umum di banyak repositori, dan microfilming digunakan secara ekstensif sebagai cara hemat biaya untuk mengawetkan bahan yang terancam punah.** Usaha seperti Brittle Books Initiative, American Newspapers Project, dan program microfilming yang didanai National Endowment for the Humanities (NEH) telah menyelamatkan jutaan item unik dan terancam (Preserving the Intellectual Heritage). Banyak perpustakaan dan arsip telah menahan nafsu rakus mereka untuk memperoleh materi baru dalam upaya menyeimbangkan luas dan dalamnya kepemilikan mereka terhadap tanggung jawab penatalayanan jangka panjang. Tekanan dari komunitas pelestarian menjadi katalis bagi banyak penerbit untuk beralih dari kertas asam ke kertas netral asam dalam produksi karya terbitan. Memperkenalkan bahan yang lebih stabil pada awal proses produksi informasi merupakan kemenangan signifikan bagi kepentingan pelestarian yang dalam jangka panjang akan mengurangi kebutuhan akan upaya penyelamatan.

Banyak yang masih harus dilakukan untuk melestarikan budaya, intelektual, dan sumber daya ilmiah dalam format tradisional yang menjadi dasar penelitian dan pengajaran humaniora. Diperkirakan 80 juta buku yang diremehkan berada di perpustakaan Amerika, 10 juta di antaranya unik; dan jurnal, surat kabar, foto, dan dokumen yang tak terhitung jumlahnya membutuhkan perlakuan pelestarian agar dapat bertahan hingga abad berikutnya. Ribuan repositori tidak memiliki sarana untuk pencegahan bencana atau pengendalian lingkungan yang memadai untuk menghindari kerugian besar dari kepemilikan mereka. Kesuksesan dan penggunaan rutin metode pengawetan yang sudah mapan ditemukan hampir secara eksklusif di negara maju. Di negara maju, institusi besar cenderung memiliki program pengawetan yang paling luas dan teknik pengawetan lebih dikembangkan untuk materi cetak daripada format khusus seperti foto, film, dan video (Pengawetan Materi Arsip).

Pelestarian digital menambahkan serangkaian tantangan baru bagi perpustakaan dan arsip ke tugas yang ada untuk melestarikan warisan materi dalam format tradisional. Saya **mendefinisikan pelestarian digital sebagai perencanaan, alokasi sumber daya, dan penerapan metode dan teknologi pelestarian yang diperlukan untuk memastikan bahwa informasi digital dengan nilai berkelanjutan tetap dapat diakses dan digunakan**. Saya sengaja menggunakan istilah nilai "berkelanjutan" daripada "permanen" untuk menghindari absolutisme dan idealisme yang diimplikasikan oleh istilah "permanen" (O'Toole). Konsep pelestarian digital saya mencakup materi yang memulai kehidupannya dalam bentuk digital serta materi yang diubah dari format tradisional ke digital. Meskipun pengawet telah berjuang melawan kertas berbasis asam, termo-faks, film nitrat, dan media rapuh lainnya selama beberapa dekade, ancaman yang ditimbulkan oleh media magnetik dan optik secara kualitatif berbeda. Media perekam baru ini rentan terhadap kerusakan dan kerugian akibat bencana, dan bahkan dalam kondisi ideal, media ini berumur pendek dibandingkan dengan media penyimpanan tradisional. Mereka adalah media pertama yang dapat digunakan kembali dan dapat memburuk dengan cepat, membuat kerangka waktu untuk keputusan dan tindakan untuk mencegah kerugian hanya dalam hitungan tahun, bukan dekade.

Lebih berbahaya dan menantang daripada kerusakan media adalah masalah keusangan dalam teknologi pengambilan dan pemutaran. Inovasi dalam industri perangkat keras, penyimpanan, dan perangkat lunak komputer berlanjut dengan kecepatan tinggi, biasanya menghasilkan kapasitas penyimpanan dan pemrosesan yang lebih besar dengan biaya lebih rendah. Perangkat, proses, dan perangkat lunak untuk merekam dan menyimpan informasi sedang diganti dengan produk dan metode baru dalam siklus tiga hingga lima tahun yang teratur, terutama didorong oleh kekuatan pasar. Karya digital yang dibuat dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak baru atau yang sedang berkembang sangat rentan terhadap keusangan perangkat lunak karena standar untuk pengkodean, representasi, pengambilan, dan fungsi lainnya membutuhkan waktu untuk berkembang. Format baru juga cenderung lebih kompleks karena dapat menangani lebih banyak variasi representasi informasi dan fungsi pemrosesan informasi. Aplikasi multi-media baru harus menangani banyak representasi teks, data, gambar, suara, dan gerak serta mengatur hubungan antar komponen objek digital yang kompleks. Rekaman yang dibuat dalam bentuk digital pada contoh pertama dan yang diubah secara retrospektif dari kertas atau mikrofilm ke bentuk digital sama-sama rentan terhadap keusangan teknologi.

Pelestarian digital dibatasi oleh tidak adanya standar yang ditetapkan, protokol, dan metode yang terbukti untuk melestarikan informasi digital dan oleh kecenderungan untuk mempertimbangkan masalah pelestarian hanya di akhir proyek atau setelah kerugian yang sensasional. Dengan sedikit pengecualian, penelitian perpustakaan digital telah berfokus pada arsitektur dan sistem untuk organisasi informasi, pengambilan, presentasi, dan visualisasi, dan pada administrasi hak kekayaan intelektual (Levy dan Marshall). Peran penting perpustakaan dan arsip digital dalam memastikan aksesibilitas informasi di masa depan dengan nilai abadi telah mengambil kursi belakang untuk meningkatkan akses ke materi saat ini dan yang digunakan secara aktif. Akibatnya, pengawetan digital sebagian besar tetap bersifat eksperimental dan penuh dengan risiko yang terkait dengan metode yang belum teruji. Persyaratan pelestarian digital belum diartikulasikan baik dari perspektif pengguna atau penyedia, juga belum diperhitungkan dalam arsitektur, alokasi sumber daya, atau perencanaan perpustakaan digital.

Penjajaran penyimpanan massal dan pelestarian jangka panjang menawarkan lahan subur untuk mendiskusikan tantangan konseptual dan metodologis yang dihadapi perpustakaan dan arsip digital. Dua istilah "penyimpanan massal" dan "pelestarian jangka panjang" merupakan kontradiksi dalam perkembangan perpustakaan digital saat ini, yang mewakili bom waktu yang mengancam kelangsungan jangka panjang dari jenis sumber pengetahuan baru ini. Teknologi baru untuk penyimpanan massal informasi digital berlimpah, namun teknologi dan metode untuk pelestarian jangka panjang dari penyimpanan informasi digital yang luas dan terus berkembang jauh tertinggal. Strategi, metode, dan teknologi untuk pelestarian jangka panjang informasi digital yang ada belum tentu layak secara teknologi untuk pelestarian dalam skala massal, dan juga tidak terjangkau mengingat banyaknya informasi digital yang dihasilkan. Kemampuan kami untuk membuat, mengumpulkan, dan menyimpan materi digital jauh melebihi kapasitas kami saat ini untuk melestarikan bahkan dalam jumlah kecil dengan nilai berkelanjutan

**persyaratan pengawetan digital**

Untuk melestarikan materi digital dalam skala yang sesuai dengan kemampuan penyimpanan massal dan dalam format yang dapat diakses dan digunakan, beberapa persyaratan dasar perlu diartikulasikan. Ada dua perspektif berbeda tentang persyaratan pengawetan digital: pengguna materi digital dan perpustakaan, arsip, dan penjaga lainnya yang memikul tanggung jawab atas pemeliharaan, pengawetan, dan distribusinya. Perpustakaan dan arsip tidak akan menyelesaikan misi pelestariannya jika mereka tidak memenuhi persyaratan penggunanya dengan menyimpan materi dalam format yang memungkinkan jenis analisis yang ingin dilakukan pengguna. Pada saat yang sama, perpustakaan dan arsip mungkin tidak dapat memenuhi semua persyaratan dari semua pengguna potensial karena kendala sumber daya, persaingan prioritas, dan kurangnya keahlian teknis. Dengan membuat persyaratan preservasi eksplisit dari perspektif pengguna dan penjaga, perpustakaan dan arsip akan lebih mampu menyeimbangkan permintaan yang bersaing dan mengintegrasikan preservasi digital ke dalam keseluruhan perencanaan dan alokasi sumber daya.

Potensi kebutuhan informasi sangat bervariasi, tidak dapat diprediksi, dan hampir tidak ada habisnya (Gould). Setiap generalisasi, bahkan jika dibatasi pada satu komunitas pengguna seperti sarjana humaniora, berisiko mengabaikan dan mengecilkan kebutuhan pengguna potensial. Meskipun persyaratan yang tepat berbeda-beda di antara disiplin ilmu, beberapa kebutuhan dasar melampaui bidang dan disiplin ilmu. Kemampuan untuk menetapkan keaslian dan integritas sumber sangat penting bagi semua pengguna, terlepas dari apakah sumber dibuat oleh individu, dihasilkan dalam pelaksanaan bisnis kelembagaan, atau diproduksi melalui proses publikasi formal (Lynch). Mekanisme yang akan memungkinkan pengguna untuk menetapkan asal, asal, dan keaslian dokumen digital memerlukan arsip dan perpustakaan untuk menyimpan informasi kontekstual dan deskriptif di samping konten dokumen digital. Atribut seperti struktur dokumen formal, metadata yang mendokumentasikan pemeliharaan dan penggunaan sejarah dokumen, stempel waktu dan tanggal, dan referensi di antara dokumen sangat penting untuk menentukan keaslian, memahami asal sumber, dan menempatkannya dalam konteks yang lebih luas (Graham) . Meskipun persyaratan ini juga penting untuk materi tradisional, persyaratan ini bahkan lebih signifikan untuk materi digital yang mudah diubah, disalin, dan dihapus dari konteks aslinya.

Michelson dan Rothenberg (1992) berpendapat bahwa **jaringan dan akses ke sumber digital akan mengubah semua dimensi proses kerja ilmiah, termasuk mengidentifikasi sumber, berkomunikasi dengan kolega menafsirkan dan menganalisis data, menyebarkan temuan penelitian, dan mengajar. Jika proyeksi mereka benar, program pengawetan digital harus memungkinkan integrasi tingkat tinggi antara bahan sumber dan proses analitis dengan menggabungkan sumber penelitian dengan alat yang diperlukan untuk menganalisisnya; dengan menjaga keterkaitan antara hasil penelitian dan sumber yang menjadi dasarnya; dan dengan menyediakan sarana untuk memasukkan sumber-sumber utama ke dalam pengajaran.** Pengguna akan mencari dokumen yang dengan mudah diambil dan dimanipulasi, dikirimkan, dan dapat dipindahkan dari gudang ke situs penelitian, presentasi, dan pengajaran. Tampaknya aman untuk mengasumsikan bahwa sarjana humaniora akan membutuhkan kemampuan untuk mencari dan memilih sumber yang relevan dari kumpulan besar bahan heterogen, untuk membandingkan sumber satu sama lain, dan untuk melihat dokumen tertentu pada tingkat granularitas yang tinggi. Pengawetan digital akan menambah sedikit nilai pada proses penelitian jika ia hanya berfungsi sebagai bentuk penyimpanan alternatif dari mana replika analog diproduksi untuk digunakan dengan metode analitik konvensional. Namun, pelestarian materi digital dalam format yang dapat diandalkan dan dapat digunakan akan membutuhkan pemeliharaan jangka panjang dari karakteristik struktural, metadata deskriptif, dan tampilan, kemampuan komputasi, dan analitis yang sangat menuntut penyimpanan massal dan perangkat lunak untuk pengambilan dan interpretasi.

Arsip, perpustakaan, dan jenis repositori lain yang berjuang untuk memenuhi ekspektasi pengguna yang meningkat dengan sumber daya keuangan dan teknis yang terbatas dapat mengekspresikan persyaratan penyimpanan digital secara berbeda dari pengguna akhir. Dari perspektif repositori, sistem penyimpanan harus mampu menangani informasi digital dalam berbagai format, termasuk teks, data, grafik, video, dan suara. Penyimpanan digital bukan sekadar sarana alternatif untuk menyimpan format cetak. Banyak jenis objek digital tidak memiliki padanan cetak dan tidak dapat disimpan dalam format non-digital. Idealnya, media penyimpanan memiliki umur yang panjang, ketahanan terhadap bencana yang tinggi, daya tahan yang cukup untuk digunakan secara rutin, dan kapasitas penyimpanan yang sangat besar. Konversi dari format analog ke digital dan migrasi ke teknologi generasi baru akan cepat, akurat, dan cukup murah untuk memungkinkan transfer material heterogen dalam skala besar. Persyaratan ruang penyimpanan akan minimal dan tidak menuntut pengendalian lingkungan yang sangat sensitif. Untuk membuat pengawetan digital terjangkau oleh berbagai organisasi dan individu seluas mungkin, peralatan, media, dan biaya pemeliharaan harus sederhana.

**Strategi Pelestarian Saat Ini dan Batasannya**

Sebagian besar pustakawan dan arsiparis telah menerima kebijaksanaan dasar bahwa perlindungan digital bergantung pada penyalinan, bukan pada kelangsungan media fisik (Lesk). Tetapi menyalin, juga disebut sebagai "menyegarkan" atau "migrasi," lebih kompleks daripada sekadar mentransfer aliran bit dari media lama ke media baru atau dari satu generasi sistem ke generasi berikutnya. Transformasi objek digital yang kompleks dan mahal sering kali diperlukan untuk melestarikan materi digital agar tetap menjadi representasi yang sah dari versi aslinya dan sumber yang berguna untuk analisis dan penelitian (Preserving Digital Information). Metode pengawetan materi digital saat ini tidak sepenuhnya mendukung pencapaian tujuan ini. Ketika dihadapkan dengan tanggung jawab untuk melestarikan materi digital, arsip dan perpustakaan menghadapi serangkaian pilihan yang kompleks dan sulit berdasarkan format bahan asli, penggunaan yang diantisipasi untuk itu, dan sumber daya teknis dan keuangan yang tersedia untuk diinvestasikan dalam inisiatif pelestarian yang beragam. dari metode yang sangat dasar dan mapan hingga proposal yang belum diuji.

Mentransfer informasi digital dari media magnetik dan optik yang kurang stabil dengan mencetak gambar halaman pada kertas atau mikrofilm mungkin merupakan strategi pengawetan yang paling umum digunakan. Tampaknya ironis bahwa seperti perpustakaan dan arsip yang menemukan konversi digital sebagai metode pengawetan hemat biaya untuk bahan-bahan tertentu yang rusak, banyak informasi yang memulai kehidupannya dalam bentuk elektronik dicetak di atas kertas atau mikrofilm untuk penyimpanan jangka panjang yang aman dan terjamin. Namun, kertas netral asam berkualitas tinggi dapat bertahan satu abad atau lebih sementara mikrofilm kualitas arsip diproyeksikan bertahan 500 tahun atau lebih. Kertas dan mikrofilm memiliki keuntungan tambahan karena tidak memerlukan perangkat keras atau perangkat lunak khusus untuk pengambilan atau tampilan. Mungkin ini menjelaskan mengapa dalam banyak proyek konversi digital, gambar digital berfungsi sebagai pelengkap daripada pengganti materi hard copy asli. (Conway, 1994)

**Strategi lain untuk pelestarian digital adalah untuk melestarikan informasi digital dalam format digital sesederhana mungkin untuk meminimalkan persyaratan perangkat lunak pengambilan tertentu dan untuk menghindari masalah keusangan perangkat lunak.** Informasi digital dapat ditransfer lintas generasi teknologi dalam format "software-independent" sebagai file teks ASCII atau sebagai file datar dengan struktur yang sederhana dan seragam. Beberapa arsip data menyimpan banyak koleksi data numerik yang ditangkap pada punch card pada tahun 1950-an atau 1960-an, bermigrasi ke dua atau tiga format pita magnetik yang berbeda, dan sekarang berada pada media optik. Saat media baru dan format penyimpanan diperkenalkan, data dapat dimigrasi tanpa perubahan signifikan dalam struktur logisnya. Pendekatan ini memiliki keuntungan tersendiri karena bersifat universal dan mudah diterapkan. Ini adalah strategi hemat biaya untuk melestarikan informasi digital dalam kasus-kasus di mana mempertahankan konten adalah yang terpenting, tetapi tampilan, pengindeksan, dan karakteristik komputasi tidak penting. Selama komunitas pelestarian tidak memiliki strategi migrasi yang lebih kuat dan hemat biaya, mencetak ke kertas atau film dan menyimpan file datar akan tetap menjadi metode pilihan terakhir bagi banyak institusi dan untuk format informasi digital tertentu.

Perpustakaan dan arsip dengan koleksi materi digital yang besar, kompleks, dan beragam baru mulai menguji strategi yang menormalkan berbagai jenis kepemilikan dengan mengonversi catatan digital dari banyaknya format menjadi format standar yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola ("Pilot Accessioning Laporan Ringkasan Proyek "). Repositori mungkin menerima dokumen tekstual hanya dalam satu atau beberapa format pengolah kata komersial yang umum tersedia atau memerlukan dokumen yang sesuai dengan standar seperti SGML (ISO 8879). Metode yang stabil dan terstandarisasi untuk mark-up, ark-up, seperti penggunaan SGML sebagai alat untuk merepresentasikan struktur logika teks, dapat mempertahankan kemampuan struktural, presentasi, dan pengambilan tanpa menjadi tergantung pada umur panjang perangkat lunak tertentu aplikasi. Database mungkin disimpan dalam satu atau beberapa format umum atau dikonversi ke format yang sesuai dengan SQL (Structured Query Language), sementara file gambar mungkin sesuai dengan format file gambar yang diberi tag (TIFF) atau format gambar umum lainnya dengan algoritme kompresi standar.

Pendekatan ini memiliki keuntungan dalam melestarikan lebih banyak tampilan, penyebaran, dan karakteristik komputasi dari materi asli, sekaligus mengurangi berbagai macam transformasi yang disesuaikan yang jika tidak diperlukan untuk memindahkan materi ke generasi teknologi masa depan. Strategi ini bertumpu pada asumsi bahwa produk perangkat lunak yang sesuai dengan standar yang diadopsi secara luas atau tersebar luas di pasar kurang stabil dibandingkan pasar perangkat lunak secara keseluruhan. Produk komersial yang paling umum saat ini menyediakan utilitas untuk kompatibilitas ke belakang dan untuk menukar dokumen, database, dan objek yang lebih kompleks di antara sistem perangkat lunak. Meskipun strategi ini menyederhanakan migrasi dan dapat menurunkan biaya pelestarian digital dengan mengurangi jumlah pemformatan ulang yang disesuaikan yang diperlukan saat teknologi berubah, hal ini tidak menghilangkan kebutuhan untuk migrasi reguler materi digital. Baik perangkat lunak dan standar terus berkembang dan bahkan repositori dengan kepemilikan yang secara struktural homogen dapat diharapkan untuk memigrasi materi digital mereka secara berkala.

Metode saat ini masih jauh dari apa yang dibutuhkan untuk mengawetkan materi digital. Semua metode pengawetan saat ini melibatkan pertukaran antara apa yang diinginkan dari sudut pandang fungsionalitas, ketergantungan, dan biaya dan apa yang mungkin dan terjangkau dengan teknologi dan metode saat ini. Akibatnya, sebagian besar repositori mengatasi dengan menggunakan strategi sementara dan kurang dari yang diinginkan, jika mereka sama sekali menangani masalah pelestarian digital. Misalnya, kesederhanaan dan universalitas pencetakan ke kertas atau mikrofilm mengakibatkan kerugian besar dalam pengambilan dan penggunaan kembali potensi informasi digital. Strategi migrasi yang melibatkan pemformatan ulang materi digital ke format standar sederhana biasanya menghilangkan struktur dokumen dan hubungan yang tertanam dalam basis data. Kemampuan komputasi, tampilan grafik, pengindeksan, dan fitur lainnya sering kali hilang, sehingga membatasi potensi analitik di masa mendatang. Normalisasi ke format standar tidak selalu layak secara teknis dan biasanya cukup mahal. Arsip dan perpustakaan juga harus bersaing dengan bentuk wacana elektronik yang sepenuhnya baru dan bentuk baru ekspresi seni dan budaya yang tidak memiliki pendahulu di dunia analog. Tidak ada metode pengawetan saat ini yang memadai untuk memelihara objek data dinamis dari sistem yang kompleks. Tidak ada model konseptual atau proses teknis yang mapan untuk melestarikan karya multi-media, hyper-media interaktif, dialog on-line, atau banyak bentuk elektronik baru yang sedang dibuat saat ini. Persyaratan arsip untuk memelihara konten, konteks, dan struktur dokumen digital dan kebutuhan untuk mempertahankan kemampuan untuk menampilkan, menghubungkan, memanipulasi objek digital untuk memenuhi kebutuhan pengguna hanya meningkatkan ketergantungan perangkat lunak dalam repositori digital.

Komunitas pelestarian baru mulai mengeksplorasi kemungkinan alternatif untuk menyimpan informasi digital dalam bentuk **"tidak bergantung perangkat lunak**". Rothenberg (1995) mengusulkan pendekatan untuk menjaga konten materi digital tetap utuh tanpa kehilangan kemampuan untuk mengambil sumber yang kaya makna. Dia merekomendasikan untuk menyimpan dokumen asli dalam format aslinya yang dikemas dalam "amplop" virtual yang berisi petunjuk perangkat lunak untuk pengambilan, tampilan, dan pemrosesan pesan di dalam amplop. Amplop akan berisi informasi kontekstual dan sejarah transformasional dari setiap objek. Pelaksanaan instruksi akan bergantung pada arsip emulator perangkat keras dan perangkat lunak atau pada instruksi dalam amplop dengan spesifikasi tentang cara membuat emulator.

Strategi preservasi digital yang dibahas selama ini didasarkan pada asumsi bahwa perpustakaan dan arsip akan menjadi penerima pasif materi digital. Strategi pelengkap berupaya menempatkan perhatian pelestarian lebih jauh ke hulu dalam proses menghasilkan informasi digital dengan mengembangkan atau merekomendasikan standar untuk format, struktur, dan deskripsi objek digital sehingga lebih dapat diterima untuk pelestarian jangka panjang. Penelitian tentang persyaratan pengelolaan arsip elektronik telah menetapkan standar metadata untuk bukti yang akan mendukung kebutuhan akan integritas, keaslian, keandalan, dan pengarsipan melalui standar untuk "objek yang dienkapsulasi metadata" (Bearman dan Sochats; Buletin ASIS). Arsip, perpustakaan, dan lembaga lain dengan tanggung jawab pelestarian akan mendapatkan keuntungan jika sistem informasi yang menghasilkan informasi digital dirancang untuk mendukung kebutuhan pelestarian jangka panjang, seperti migrasi, deskripsi yang memadai, dan keterkaitan antara konten materi digital dan organisasinya yang lebih besar. konteks tional atau intelektual. Adopsi standar data dan komunikasi secara luas oleh para pencetus informasi digital untuk mendukung kebutuhan bisnis mereka saat ini juga dapat memfasilitasi pelestarian jangka panjang. Implementasi yang cepat dari perdagangan elektronik bergantung pada perkembangan luas dan adopsi standar untuk pertukaran data elektronik dan transaksi yang aman. Banyak organisasi mengadopsi standar untuk format dan definisi untuk memungkinkan pertukaran, penggunaan kembali, dan penjualan informasi digital dan untuk mengurangi biaya konversi dan pemeliharaan. Inisiatif standar yang menangani kebutuhan bisnis untuk pertukaran informasi digital yang aman dan andal di antara generasi sistem saat ini akan memberlakukan standardisasi dan normalisasi data yang pada akhirnya akan memfasilitasi migrasi ke generasi teknologi baru. Namun untuk mendapatkan manfaat penuh dari sinergi antara kebutuhan bisnis dan persyaratan pelestarian, masalah warisan budaya harus dikaitkan dengan tujuan sosial yang sama pentingnya, seperti memantau perubahan lingkungan global, menemukan lokasi limbah nuklir, dan menetapkan hak milik yang semuanya juga bergantung pada jangka panjang. akses jangka panjang ke bukti elektronik yang andal.

Banyak penelitian dan pengembangan diperlukan sebelum perpustakaan dan arsip dapat memastikan bahwa bahkan sebagian kecil dari warisan digital kita akan tetap bertahan. Dapat dikatakan bahwa perkembangan dalam pelestarian digital sebagian besar masih bersifat eksperimental. Hanya beberapa perpustakaan, arsip, dan lembaga lain yang telah membuat program perlindungan digital, sementara sebagian besar penelitian dan inovasi berasal dari proyek percontohan dan prototipe. Metode teruji yang telah terbukti efektif dalam skala kecil dalam sejumlah kecil repositori tidak dapat dilakukan untuk pelestarian banyak jenis materi digital yang akan dihadapi oleh arsip dan perpustakaan dalam upaya pelestariannya.

**Bidang Penelitian dan Pengembangan**

Kondisi pelestarian digital saat ini menunjukkan beberapa area bermanfaat untuk penelitian dan pengembangan. Saya akan membahas empat bidang: media penyimpanan, migrasi, konversi, dan alat manajemen. Keempat domain ini saling bergantung dan pada akhirnya harus diintegrasikan ke dalam infrastruktur pelestarian digital. Namun solusi yang lebih baik diperlukan di keempat bidang sebelum integrasi tersebut dapat terjadi. Terakhir, saya akan membagikan beberapa pengamatan tentang masalah skala dan biaya yang harus dipertimbangkan jika perpustakaan dan arsip ingin mencapai tingkat pelestarian sistematis.

**Media penyimpanan**

Masa pakai media magnetik dan optik yang terbatas menimbulkan masalah yang signifikan, meskipun ini bukan faktor pembatas utama untuk pengawetan digital. Penelitian terbaru tentang umur panjang media magnet menunjukkan masa manfaat 10 sampai 30 tahun jika ditangani dan disimpan dengan benar. Beberapa teknologi disk optik menjanjikan masa pakai hingga 100 tahun. Sebagian besar pihak berwenang berpendapat bahwa umur panjang media yang ditingkatkan tidak banyak nilainya karena media saat ini bertahan lebih lama dari perangkat lunak dan perangkat yang diperlukan untuk mengambil informasi yang direkam. Seperti yang dikatakan Conway, rantai elemen yang saling terkait yang diperlukan untuk pengawetan digital hanya sekuat tautan terlemahnya (Conway, 1996: 13). Namun demikian, peningkatan stabilitas, kapasitas, dan umur panjang media penyimpanan dasar diperlukan untuk secara drastis mengurangi kerentanan material digital terhadap kehilangan dan perubahan serta untuk mengurangi biaya penyimpanan dan pemeliharaan. Banyak penelitian dan pengalaman memberikan bukti tentang apa yang salah dengan media magnetis sebagai akibat dari degradasi pengikat, ketidakstabilan partikel magnet, dan deformasi substrat (Van Bogart). Media optik rentan terhadap kerusakan akibat kelembapan tinggi, fluktuasi suhu yang cepat dan ekstrem, serta kontaminasi dari materi partikulat di udara (Arsip Nasional dan Administrasi Catatan AS). Untuk mencegah masalah ini, sangat penting untuk menyimpan media magnetis dan optik di bawah kontrol lingkungan yang ketat yang tidak selalu tersedia, terjangkau, atau nyaman. Bahkan perbaikan sederhana yang menghasilkan media penyimpanan dengan kapasitas penyimpanan per unit yang lebih besar dan toleransi yang lebih besar terhadap variasi suhu dan kelembapan akan menurunkan biaya pengawetan dengan mengurangi kebutuhan akan kontrol lingkungan yang ketat, mengurangi frekuensi media digital harus "disegarkan" melalui menyalin kembali, dan mengurangi jumlah unit penyimpanan yang harus ditangani.

Ini menimbulkan pertanyaan, bagaimanapun, apakah penelitian tentang peningkatan bertahap dalam teknologi penyimpanan saat ini akan menguntungkan pelestarian dalam jangka panjang atau apakah pendekatan alternatif untuk penyimpanan digital akan memenuhi persyaratan pengarsipan secara lebih memadai. Sebagai kerangka acuan, perlu diingat bahwa film mikro, yang dianggap sebagai satu-satunya media penyimpanan arsip yang dapat diterima, bertahan setidaknya 500 tahun dengan perawatan minimal jika disimpan dengan benar. Teknologi penyimpanan baru, seperti teknologi eksperimental High-Density Read-Only Memory (HD-ROM), yang menggunakan berkas ion untuk menuliskan informasi pada pin baja tahan karat atau iridium, mungkin perlu diselidiki. HD-ROM mampu menyimpan informasi 180 kali lebih banyak daripada teknologi CD-ROM saat ini dengan kira-kira setengah dari satu persen biaya CD-ROM. Menurut salah satu rilis tentang teknologi ini, HD-ROM tahan terhadap degradasi material dan tidak memerlukan penerjemah aliran bit karena teknologinya dapat menjelaskan dalam bentuk yang dapat dibaca manusia semua instruksi yang diperlukan untuk menafsirkan data (LANL Ion Beam Storage). Pendekatan semacam itu menggambarkan potensi solusi yang dibangun di atas teknologi penyimpanan yang sepenuhnya baru.

**Migrasi**

Metode yang lebih baik untuk migrasi materi digital ke perangkat keras dan perangkat lunak generasi baru sangat dibutuhkan untuk pengawetan digital terlepas dari terobosan dalam teknologi penyimpanan massal. Perencanaan migrasi sulit karena ada pengalaman terbatas dengan jenis migrasi yang diperlukan untuk mempertahankan akses ke objek digital yang kompleks selama periode waktu yang lama. Ketika kustodian mengambil tanggung jawab untuk melestarikan objek digital, mungkin sulit untuk memprediksi kapan migrasi akan diperlukan, berapa banyak pemformatan ulang yang diperlukan, dan berapa biaya migrasi. Tidak ada data yang dapat diandalkan atau komprehensif tentang biaya yang terkait dengan migrasi, baik untuk teknologi dan format tertentu atau untuk koleksi tertentu, dan sedikit penelitian yang sedang dilakukan tentang metodologi yang akan mengurangi biaya dan beban migrasi.

Organisasi dengan tanggung jawab pemeliharaan akan mendapatkan keuntungan besar dari pengembangan jalur kompatibilitas mundur yang akan dimasukkan sebagai fitur standar dari semua perangkat lunak. Kompatibilitas ke belakang atau jalur migrasi akan memungkinkan perangkat lunak generasi baru untuk "membaca" data dari sistem lama tanpa pemformatan ulang yang substansial dan tanpa kehilangan kemampuan pengambilan, tampilan, dan komputasi. Meskipun kompatibilitas mundur semakin umum dengan- dalam lini produk perangkat lunak tertentu, jalur migrasi biasanya tidak disediakan antara produk perangkat lunak yang bersaing atau untuk produk yang gagal di pasar.

Pengurus materi digital memiliki berbagai pilihan untuk melestarikan informasi digital. Seseorang mungkin menyimpan replika rekaman digital yang tepat dengan fungsionalitas tampilan, pengambilan, dan komputasi lengkap, atau representasi rekaman dengan hanya kemampuan komputasi parsial, atau pengganti rekaman seperti abstrak, ringkasan, atau agregasi. Detail atau kebisingan latar belakang disingkirkan dengan sengaja melalui beberapa generasi migrasi, dan penjaga mungkin mengubah format atau media penyimpanan. Penyempurnaan secara teknologi dimungkinkan melalui pembersihan, mark-up, dan penautan, atau dengan menambahkan pengindeksan dan fitur lainnya. Kemungkinan teknologi ini pada gilirannya memberlakukan tanggung jawab baru yang serius untuk menyajikan materi digital kepada pengguna dengan cara yang memungkinkan mereka untuk menentukan keaslian informasi dan hubungannya dengan sumber aslinya. Metode untuk mendokumentasikan perubahan objek digital selama rentang hidupnya perlu dimasukkan sebagai bagian integral dari metode migrasi yang ditingkatkan.

Ada beberapa metode yang dikembangkan dengan baik untuk melestarikan dan memigrasi perangkat lunak sehingga dapat digunakan untuk membuat ulang dokumen digital yang memiliki "tampilan dan nuansa" dari sumber aslinya. Memelihara repositori perangkat keras dan perangkat lunak usang telah dibahas secara berkala, tetapi biasanya dianggap terlalu mahal dan tidak dapat dibuktikan. Pendekatan ini perlu mendapat pertimbangan yang lebih serius sebagai strategi untuk mempertahankan akses berkelanjutan ke jenis materi digital tertentu. Studi kelayakan dan analisis biaya / manfaat harus dilakukan untuk menentukan kelayakan teknologi, ekonomi, dan komersial dari pemeliharaan sistem perangkat lunak lama yang dipilih dan melakukan migrasi khusus atau, sebagai alternatif, membangun dan memelihara emulator perangkat lunak. Pendekatan semacam itu akan mendukung pemutaran ulang sumber asli dan berkontribusi pada pelestarian perangkat lunak sebagai sumber daya budaya dan intelektual yang signifikan dengan sendirinya.

**Konversi**

Teknologi konversi resolusi yang lebih cepat, lebih murah, dan lebih tinggi merupakan elemen penting lainnya yang diperlukan untuk membuat pengawetan digital dapat dilakukan dalam skala besar. Sebagian besar arsiparis dan pustakawan menerima kenyataan bahwa kita hidup dalam lingkungan hibrid di mana **kertas, mikrofilm, video, dan media magnetik dan optik perlu saling beroperasi dengan cara yang lebih terintegrasi dan transparan**. Sebagian besar sumber primer saat ini masih berada di atas kertas dan / atau mikrofilm dengan sedikit kemungkinan kita akan melihat konversi massal dari arsip dan kepemilikan perpustakaan yang ada ke format digital. Penelitian dan perencanaan untuk pelestarian digital harus menyadari bahwa repositori akan menghadapi konversi untuk waktu yang lama dan bahwa investasi dalam meningkatkan tingkat penangkapan, akurasi, resolusi, dan verifikasi akan memiliki manfaat jangka panjang. Selain itu, peningkatan dalam teknologi konversi dapat mendukung solusi hybrid untuk masalah pelestarian dan akses dengan mengizinkan repositori untuk menyimpan format materi digital tertentu pada media yang stabil, seperti mikrofilm, dengan konversi sesuai permintaan ke bentuk digital untuk dianalisis dan digunakan kembali. Upaya untuk menangkap dan menyimpan mark-up deskriptif pada film untuk konversi berikutnya terhambat oleh tingkat kesalahan yang tidak dapat diterima dalam teknologi OCR dan proses konversi yang rumit (Giguere)

**Alat Manajemen**

Area keempat untuk penelitian adalah pengembangan alat manajemen untuk perpustakaan dan arsip digital yang mengintegrasikan kontrol deskriptif dan pemeliharaan dengan sistem penyimpanan digital. Objek digital dinamis, seperti yang ditemukan dalam sistem hypertext, menimbulkan masalah manajemen khusus untuk pengambilan dan penggunaan kembali saat ini dan di masa mendatang. Batasan sumber hypertext, seperti yang ditemukan di World Wide Web saat ini, sulit untuk dipastikan karena tidak ada satu pihak atau lembaga yang mengontrol perubahan di semua dokumen dan tautan yang membuat objek hypertext hidup dan sumber informasi yang sangat responsif. Tingkat volatilitas yang tinggi menyertai objek ini karena konten dokumen berubah, situs tempat sumber daya informasi disimpan berubah, dan tautan antar dokumen berubah, berpindah, dan menghilang. Beberapa alat terkini, seperti perangkat lunak "perayap" yang mampu melintasi sebagian Web dan mencatat masalah pemeliharaan seperti tautan rusak, dokumen yang dipindahkan, dokumen yang dimodifikasi, dan objek yang telah melebihi tanggal kedaluwarsa, memiliki aplikasi potensial dalam mengelola arsip digital (Ackerman dan Fielding; Kahle). Jika alat ini ditambahkan untuk mengatasi masalah pengawetan, alat ini berpotensi berfungsi sebagai filter untuk penilaian dan seleksi, untuk memantau penyimpanan terhadap kerusakan fisik, dan untuk mengidentifikasi objek yang terancam karena keusangan teknologi.

Penelitian dan pengembangan alat yang akan menanamkan lebih banyak kecerdasan tentang status pelestarian materi digital ke dalam objek itu sendiri akan membuat pemantauan dan pemeliharaan koleksi digital besar menjadi lebih otomatis. Metode pemantauan status fisik materi digital saat ini padat karya, tidak dapat diandalkan, dan berpotensi merusak materi itu sendiri. Prosedur yang direkomendasikan untuk memantau kerusakan fisik media magnetis, misalnya, melibatkan pembacaan sampel kecil item secara berkala untuk menentukan apakah telah terjadi kehilangan data (Eaton). Ada potensi untuk membangun mekanisme pemantauan dan pelaporan ke dalam objek digital, sistem penyimpanan, dan arsitektur jaringan yang dapat mendukung pelaporan mandiri status fisik dan memulai prosedur pemeliharaan otomatis.

Terlepas dari perbedaan penting, beberapa pelajaran dari pelestarian tradisional dapat ditransfer ke lingkungan digital. Untuk menghindari komitmen yang jauh melebihi sumber daya yang tersedia dan upaya penyelamatan dan pemulihan yang mahal, pelestarian harus menjadi bagian integral dari perencanaan, desain, dan alokasi sumber daya untuk perpustakaan dan arsip digital. Integrasi persyaratan dan metode pelestarian dengan sistem akses dan pemeliharaan sangat penting untuk mengelola proses migrasi, regenerasi, dan dokumentasi kehidupan objek digital secara penuh dan efisien. Perencanaan pelestarian harus menjadi bagian integral dari desain dan pengelolaan perpustakaan dan arsip digital. Jika dibiarkan sebagai renungan, ada sedikit alasan untuk percaya bahwa pelestarian jangka panjang informasi digital akan lebih terjangkau daripada pelestarian format konvensional sebelumnya.

Dalam mengembangkan alat dan metode baru untuk pelestarian digital, peneliti dan pengembang harus memperhatikan masalah skalabilitas, keterjangkauan, dan kemudahan implementasi. Komunitas pelestarian memiliki berbagai taktik untuk pengawetan digital yang tampaknya bekerja secara efektif untuk jenis bahan tertentu di lingkungan terbatas tertentu, tetapi metode saat ini tidak dapat diskalakan untuk masalah umum pengawetan digital. Ini tidak berarti bahwa ada atau harus ada solusi tunggal untuk pelestarian digital. Metode yang digunakan akan bervariasi tergantung pada kompleksitas objek digital asli, sejauh mana fungsionalitas untuk komputasi, tampilan, pengindeksan, dan otentikasi harus dipertahankan, dan persyaratan pengguna saat ini atau yang diantisipasi. Tetapi solusi apa pun harus dapat diskalakan dari laboratorium, prototipe, atau proyek percontohan ke berbagai individu dan institusi yang memiliki tanggung jawab untuk memastikan bahwa materi digital bertahan lebih lama dari yang diizinkan oleh generasi teknologi saat ini.

Masalah lain yang terkait erat adalah pertanyaan tentang keterjangkauan. Terlepas dari bagaimana tanggung jawab pelestarian digital didistribusikan, masyarakat hanya mengalokasikan sejumlah kecil dan terbatas sumber daya untuk melestarikan sumber daya ilmiah dan budaya. Dalam lingkungan digital, tampaknya tanggung jawab pelestarian akan didistribusikan di antara pencipta individu, pemegang hak, distributor, lembaga kecil, dan repositori yang sudah mapan. Keputusan yang dibuat dalam proses produksi dan diseminasi tentang format, struktur data, standar, media penyimpanan, dan sejenisnya akan mempengaruhi informasi digital mana yang bertahan dan berapa biaya untuk memeliharanya. Oleh karena itu, tampaknya **teknologi pengawetan digital harus terjangkau dan dapat diakses oleh berbagai individu dan lembaga yang memiliki peran dalam proses pengawetan materi digital.**

Akhirnya, akan bermanfaat bagi komunitas pelestarian dan bagi mereka yang melakukan penelitian tentang masalah umur panjang, migrasi, dan konversi jika ada lebih banyak tempat untuk pertukaran ide, persyaratan, dan perkembangan terkini. Tanpa dialog berkelanjutan antara humanis, pengawet, dan komunitas ilmiah, sulit untuk memasukkan persyaratan pengawetan dalam upaya penelitian ilmiah, dan hal ini menantang bagi mereka di luar komunitas ilmiah untuk mengikuti dan mengevaluasi produk baru. Saat ini, strategi pengawetan digital dibentuk terutama oleh persyaratan dan batasan dari repositori yang sudah mapan yang mencari solusi dan metode yang terjangkau dan praktis. Di masa depan, persyaratan pengguna untuk alat yang lebih kuat dan fleksibel untuk menggunakan dan menganalisis sumber daya digital yang diawetkan juga harus dimasukkan ke dalam penelitian dan pengembangan strategi dan metode pelestarian digital.