

RAGAM DAN TREN TEKNOLOGI BASISDATA PATOLOGI

Nur Wijyaning Rahayu

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang Km. 14 Yogyakarta 55501

E-mail: nnur@fti.uui.ac.id

ABSTRAK

Ilmu patologi klinik mempelajari tentang perubahan abnormal dari cairan tubuh, termasuk darah, urin, cairan otak, cairan getah bening, enzim serta hormon tubuh sebagai akibat dari kondisi tubuh yang abnormal. Sebuah laboratorium klinik yang besar bisa melakukan hingga 700 macam tes patologi. Prosesnya terlihat cukup sederhana: pasien datang ke laboratorium untuk dites, dan setelah spesimen dianalisa, informasi tersebut disampaikan dalam bentuk laporan individual, tertulis dan rahasia kepada pasien, tetapi sesungguhnya laboratorium klinik memiliki sebuah Sistem Informasi Laboratorium (SIL) yang bisa memproses mulai dari pendaftaran pasien hingga pelaporan. Data dan informasi di SIL yang kompleks dimanfaatkan oleh banyak pihak, mulai dari direktur lab, pasien, asesor akreditasi lab, institusi kesehatan lain, hingga peneliti. Secara konten, data patologi bisa berupa teks dan format citra (image) dan sifat konten bisa terbuka (seperti data USTUR dan SEER) atau semi-terbuka untuk konsumsi publik. Untuk kepentingan riset, para peneliti bisa memanfaatkan data yang terbuka untuk publik dan mengekstraknya dengan software jadi atau software kompilasi sendiri. Para peneliti juga berusaha untuk menangani citra patologi yang berukuran besar, sehingga muncul inovasi seperti model mikroskop virtual, Cell Centered Database (CCDB) dan Pathology Analytics Imaging Standards (PAIS). Secara teknologi, survei dari College of American Pathologists menunjukkan bahwa basisdata Oracle dan Microsoft SQL Server banyak digunakan oleh 15 SIL terbesar di USA. Kolaborasi antar peneliti juga memunculkan inovasi baru, seperti identifikasi genom dengan sistem Ion Torrent NGS dan instrumen POCT genetik. Keragaman inovasi teknologi di luar negeri tersebut bisa menjadi alternatif untuk riset-riset patologi klinik di dalam negeri.

Kata Kunci: patologi klinik, citra patologi, teknologi basisdata

1. PENDAHULUAN

Dalam Ensiklopedia Britannica disebutkan bahwa patologi adalah spesialisasi medis yang mempelajari tentang penyebab penyakit dan perubahan struktural dan fungsional yang terjadi dalam kondisi abnormal (Encyclopaedia Britannica, 2011). Patologi terbagi dalam dua bagian, yakni patologi anatomi dan patologi klinik. Patologi anatomi mempelajari kelainan-kelainan pada organ tubuh, baik secara makro maupun mikro dan akibat-akibat yang dapat ditimbulkannya. Sedangkan patologi klinik mempelajari tentang perubahan abnormal dari cairan tubuh, termasuk darah, urin, cairan otak, cairan getah bening, enzim serta hormon tubuh sebagai akibat dari kondisi tubuh yang abnormal.

1.1 Data patologi dan Sistem Informasi Laboratorium (SIL)

Data patologi klinik diperoleh sebagai hasil tes di laboratorium. Secara umum, prosedur pengambilan data laboratorium hampir serupa, yakni –atas permintaan dokter atau pasien sendiri– pasien meminta tes laboratorium, dan kemudian spesimen diproses di instrumen tes (manual atau otomatis). Informasi patologi dari spesimen tersebut

selanjutnya dikomunikasikan¹ ke SIL untuk kemudian dibuatkan laporannya (Terry, 2011).

Tren terbaru menunjukkan bahwa SIL juga dilengkapi dengan pemrosesan permintaan dan hasil tes secara berbasis web, kustomisasi laporan, standarisasi format laporan (seperti HL7²), antarmuka dengan EMR (electronic medical record) institusi, dan lain lain. Institusi yang dimaksud bisa berupa kantor praktek dokter, klinik, laboratorium yang lebih besar, dan rumah sakit. Selain fungsi-fungsi klinis tersebut, SIL modern juga memiliki

¹Format komunikasi bisa beragam: (1) unidirectional: hasil tes dikirim dari instrumen ke SIL, (2)bidirectional: permintaan dikirim oleh SIL, disimpan di instrumen hingga tiba giliran tes untuk spesimen yang dimaksud. Hasil tes dikirimkan kembali ke SIL, (3)host-query: Saat melakukan scan terhadap spesimen, secara bersamaan instrumen mengirimkan kode permintaan (yang bernilai unik dan terdapat di barcode/Rfid) ke SIL. Hasil tes kemudian dikirim lagi ke SIL.

²HL7 atau Health Level Seven adalah lembaga internasional yang menentukan standar interoperabilitas dari teknologi informasi kesehatan, terutama dalam data klinis dan data administrasi kesehatan. HL7 beranggotakan 55 negara dan telah diakreditasi oleh ANSI (American National Standards Institute).

kemampuan non-klinis, seperti monitor beban kerja pegawai dan layanan *billing* (pembayaran). Laboratorium khusus, seperti laboratorium yang menggunakan teknik berbasis molekuler atau citra beresolusi tinggi juga pasti mempunyai SIL yang khusus pula (Terry, 2011).

1.2 Pengguna data patologi

Secara umum, informasi di SIL banyak dimanfaatkan oleh banyak pihak, mulai dari direktur laboratorium, pasien, asesor akreditasi laboratorium/rumah sakit, institusi kesehatan lain, serta peneliti. Secara khusus, data patologi biasanya dipergunakan oleh pasien, dokter atau institusi kesehatan lain serta peneliti.

Riset-riset tentang data patologi beragam, baik dari sisi kesehatan seperti studi kasus radiasi transuranium (USTUR, 2007), maupun dari sisi teknologi informatika biomedik seperti yang dikembangkan oleh Daphne Koller dalam aplikasi patologi C-Path untuk analisa kanker. Daphne Koller dan rekan-rekannya memindai sejumlah slide preparat biopsi kanker payudara ke dalam komputer, agar sistem C-Path tersebut mampu mengenali pola dan mengidentifikasi ciri yang sebelumnya tidak dikenali pada slide-slide biopsi yang sudah ada. "Ternyata beberapa ciri yang paling signifikan berada di bagian tumor yang tidak dilihat ahli patologi pada saat ini," ujarnya. Penemuan tersebut bisa membantu memprediksi seberapa agresif kanker pada kemudian hari (Samantha, 2011).

1.3 Akses terhadap data patologi

Akses terhadap basisdata patologi juga beragam, yaitu:

- Terbuka: Data bisa diakses oleh publik dan privasi pasien umumnya terjamin. Sebagai contoh, data-data di website USTUR dan SEER termasuk dalam kategori ini.
- Semi-terbuka: Data jenis ini terbuka untuk publik untuk kurun waktu tertentu, karena biasanya data terbaru belum bisa dipublikasikan atau membutuhkan hak akses khusus. Contoh dalam kategori ini adalah data dari laboratorium atau rumah sakit di Indonesia yang hanya bisa diperoleh melalui izin ketat, serta data kanker secara nasional di USA yang terkumpul di The National Cancer Data Base (NCDB)³ seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 (American College of Surgeons, 2012).

³ Hingga Februari 2012, basisdata NCBD berisi sekitar 26 juta data dari rumah sakit kanker di Serikat. Terdapat 4 website penyedia layanan NCBD, dan salah satunya adalah HCBR yang berisi benchmark 73 kategori jenis kanker diagnosa kanker dari 1418 rumah sakit terakreditasi antara tahun 2000-2009.

Site	Stage							Total	%
	0	I	II	III	IV	OC	NA		
1. Breast	22074	72980	56718	11236	5281	352	7129	187982	18.2%
2. Prostate	13	3623	107551	11805	7449	22	7813	138276	13.4%
3. Lung, Bronchus Non-Small Cell Carcinoma	318	23692	7751	23801	38466	100	7899	92719	9.1%
4. Colon	6155	17512	21829	18398	13748	86	5636	83364	8.1%
5. Urinary Bladder	19283	8690	4749	2426	2825	65	3157	41893	4.1%

Gambar 1. Screenshot hasil benchmark di website HCBR (Hospital Comparison Benchmark Reports)

2. KONTEN BASISDATA PATOLOGI

Secara sederhana, data patologi biasanya tersimpan dalam bentuk teks, seperti yang dipublikasikan oleh USTUR (United States Transuranium & Uranium Registries) dan SEER (U.S. National Cancer Institute's Surveillance, Epidemiology and End Results). Sedangkan data patologi dalam format citra (image) mulai dikembangkan secara serius dalam dua tahun terakhir (Wang et. al., 2011).

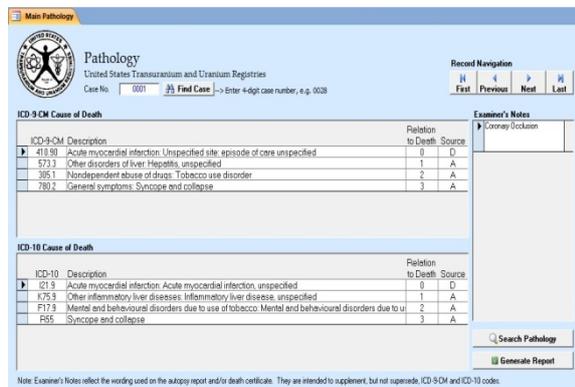
2.1 Data patologi USTUR

USTUR meneliti elemen aktinida (uranium, plutonium, americium dan thorium) yang tersimpan dalam tubuh orang-orang yang memang terpapar elemen tersebut (dengan syarat: ada dokumen pendukung & kandungannya bisa diukur). Lembaga ini dioperasikan College of Pharmacy Washington State University (WSU) sebagai salah satu lembaga riset milik pemerintah. USTUR mempelajari biokinetik, dosimetri dan efek biologis yang mungkin terjadi akibat aktinida tersebut. Data diambil dari donor (yang telah meninggal) untuk diidentifikasi ulang sehingga bisa digunakan oleh para peneliti yang tertarik dalam bidang tersebut (USTUR, 2007).

Data patologi USTUR tersimpan dalam basisdata Microsoft Access yang berisi kode ICD-9-CM⁴ dan ICD-10 penyebab kematian para donor, serta tujuh level kontribusi penyebab untuk setiap kasus.

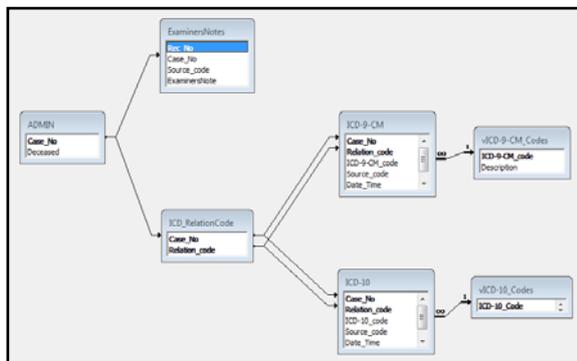
⁴ ICD (International Classification of Diseases) dikeluarkan oleh Center for Disease Control and Prevention. CM adalah singkatan dari Clinical Modification. Secara sederhana, klasifikasi penyakit sudah ada sejak abad 15. Pada awal adopsi secara internasional (1899), klasifikasi penyakit menggunakan pengkodean dari Jacques Bertillon. Pengkodean ini terus mengalami revisi, hingga Revisi Nomor 9 (1975) yang berlaku antara 1979-1994 yang berisi 5000-an kategori hingga Revisi Nomor 10 (1989) yang berlaku mulai 1995 hingga sekarang (berisi 9.000 kategori). Kini, WHO berperan dalam persiapan ICD Revisi 11 (Moriyama, Loy, & Robb-Smith, 2011).

Ketujuh level ini terurut sesuai tingkat keparahannya, dengan level 1 berarti sangat parah dan level 7 berarti kondisi keparahan minimal (USTUR, 2011). Contoh informasi untuk kasus nomor 0001 ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Informasi patologi USTUR (USTUR, 2009)

Karena memakai dua macam kode ICD, data setiap kasus juga dipetakan dalam dua entri yang bersesuaian kode. Informasi tersebut disimpan dalam tujuh tabel basisdata dengan hubungan (*relationship*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Diagram hubungan antar tabel di basisdata USTUR

2.2 Data patologi SEER (U.S. National Cancer Institute's Surveillance, Epidemiology and End Results)

SEER merupakan program milik pemerintah USA yang menyediakan dataset kanker sejumlah 4 juta kasus sejak tahun 1973 hingga 2008 dan bisa diakses oleh publik. Setiap kasus diidentifikasi dalam 1 baris data yang terdiri dari 264 karakter alfanumerik. Data tersebut terdiri dari ras, jenis kelamin, usia saat diagnosa, lokasi tumor utama, diagnosa dan informasi yang terkait dengan ukuran tumor serta kejadian *metastate* (Berman, Informatics research using publicly available pathology data, 2011). Contoh kutipan satu baris data mentah SEER (sejumlah 55 karakter dari rerata 258 karakter) adalah sebagai berikut (Berman, 2008):

246000990000001521205001078191409902051986C649081303813

Jumlah karakter tersebut diformat dalam 124 macam kode seperti tercantum dalam dokumen resmi (SEER, 2011). Contoh kutipan format terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Cuplikan format data mentah SEER

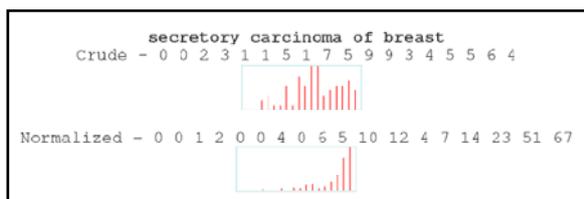
Nama data	Posisi ke-	Jumlah karakter data
Patient ID number	1-8	8
Registry ID	9-18	10
Marital Status at DX	19-19	1
.....		
Histology (92-00) ICD-O-2	48-51	4
Behavior (92-00) ICD-O-2	52-52	1
Histologic Type ICD-O-3	53-56	4
Behavior Code ICD-O-3	57-57	1
Grade	58-58	1
Diagnostic Confirmation	59-59	1
.....	48-51	4
Month of diagnosis	37-38	2
Year of diagnosis	39-42	4
Primary Site	43-46	4
Laterality	47-47	1
.....		
EOD—Tumor Size	61-63	3
EOD—Extension	64-65	2
EOD—Extension Prost Path	66-67	2
.....		

Data mentah yang berasal dari SEER kemudian bisa dianalisis oleh para peneliti. Untuk keperluan ekstraksi, peneliti bisa menggunakan software SEER*Stat (disediakan cuma-cuma oleh SEER) atau mengompilasinya dengan skrip bahasa pemrograman. Dalam publikasi yang memanfaatkan data SEER, Anacak et. al. menggunakan hasil ekstraksi dari software SEER*Stat 6.1.4 seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 untuk mempelajari asosiasi antara tingkat metastate sinkronus dan metakronus (Anacak, Meyer, & Marks, 2007).

Tumor Site	1973			1998		
	cM1pM1	cM0pM1	cM0M1/cM0	cM1pM1	cM0pM1	cM0M1/cM0
Breast	7.64%	28.72%	31.1%	5.52%	16.34%	17.3%
Lung	47.88%	43.16%	82.8%	40.32%	47.68%	79.9%
Stomach	42.03%	47.29%	82%	36.62%	46.58%	73.5%
Colorectal	25.24%	37.38%	50%	18.59%	30.37%	37.3%
Bladder	3.92%	40.54%	42.2%	3.57%	34.13%	35.4%
Oral	14.98%	44.81%	52.7%	10.31%	40.45%	45.1%
Pancreas	61.25%	37%	95.5%	62.87%	33.94%	91.4%
Liver	54.05%	44.84%	97.6%	26.32%	64.77%	87.9%
Bone	17.98%	42.73%	52.1%	14.71%	20.9%	24.5%
Larynx	7.83%	40.37%	43.8%	3.56%	41.18%	42.7%
Prostate	21.67%	38.69%	49.4%	5.46%	16.45%	17.4%
Testis	11.52%	20.44%	23.1%	7.95%	2.39%	2.6%
Esophagus	33.85%	62.52%	94.5%	32.79%	55.85%	83.1%
Soft-tissue sarcoma	18.43%	26.43%	32.4%	16.72%	27.73%	33.3%
Cervix	8.16%	29.02%	31.6%	8.82%	23.43%	25.7%
Endometrium	7.33%	15.38%	16.6%	8.17%	19.65%	21.4%
Kidney	31%	28.57%	41.4%	21.55%	23.14%	29.5%
Melanoma	10.38%	24.64%	27.5%	3.85%	16.15%	16.8%
Thyroid	9.71%	8.48%	9.4%	4.43%	6.02%	6.3%

Gambar 3 Contoh hasil ekstraksi data dengan SEER*Stat 6.1.4 (Anacak, Meyer, & Marks, 2007)

Sedangkan Jules J. Berman (Berman, 2009) menggunakan skrip pemrograman Ruby dan Perl untuk membuat grafik persebaran setiap jenis kanker untuk 20 interval usia dengan rentang 5-tahunan (0-4, 5-9, 10-14,, 85-89, 90-94, 95+). Gambar 4 menunjukkan salah satu contoh hasil analisa data SEER oleh Jules J. Berman.



Gambar 4 Contoh hasil ekstraksi data kanker terkait dengan payudara per interval usia

3. TEKNOLOGI BASISDATA PATOLOGI

3.1 Teknologi basisdata di SIL

Dari survei yang dilakukan oleh College of American Pathologists (CAP) pada tahun 2005, sebanyak 40 SIL teridentifikasi menggunakan beragam software basisdata yang berbeda-beda (CAP, 2005). Lampiran 1 merupakan ringkasan dari data SIL dengan jumlah pengguna minimal 200 dan pengecualikan vendor SIL yang tidak memasukkan data tersebut. Informasi survei tersebut menunjukkan bahwa Oracle Database dan Microsoft SQL Server banyak digunakan oleh SIL yang beredar di pasaran.

3.2 Riset terkini

Teknologi komputasi yang semakin canggih tidak hanya meningkatkan modernisasi SIL, tetapi juga makin mempertinggi kemungkinan adopsi data patologi yang berbentuk citra, baik dalam bentuk *whole-slide image* maupun *tissue microarray* (TMA). Proses transformasi citra patologi mirip dengan proses transformasi citra radiologi cetak ke citra radiologi digital dalam hal manajemen data, aplikasi ke telemedicine, edukasi dan riset. Akan

tetapi, karena citra patologi berukuran besar dan setiap kasus penyakit memiliki lebih banyak data patologi dibandingkan data radiologi, maka hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi para peneliti (Hipp et. al. 2011). Meski demikian, peneliti di Stanford University malah sedang mengembangkan data warehouse untuk mengintegrasikan data-data radiologi dan patologi (Rubin & Desser, 2008).

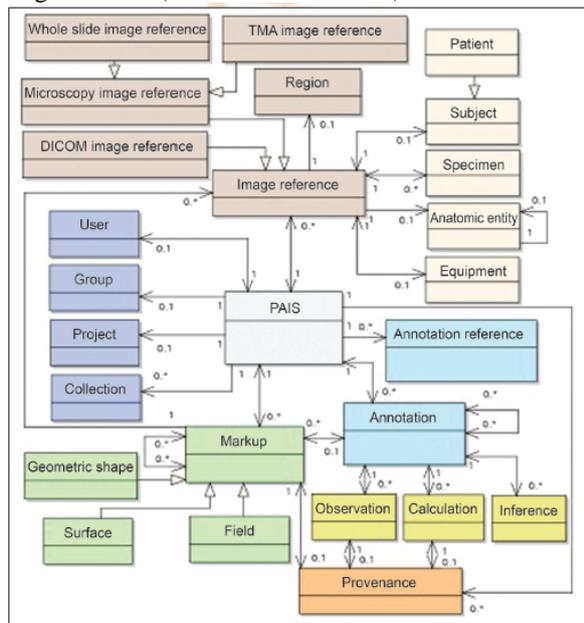
Telah banyak sistem software dan data model yang meneliti tentang data citra patologi. Contohnya adalah penggunaan mikroskop virtual (“Virtual Microscope”) yang dimaksudkan untuk mendukung, menyimpan dan memproses citra mikroskopis yang sangat banyak dan besar tetapi tetap berkinerja tinggi. OME (Open Microscopy Environment) juga telah mengembangkan sebuah model data dan sistem basisdata yang bisa digunakan untuk merepresentasikan, mempertukarkan dan mengelola data dan metadata dari spesimen. Selain itu, terdapat juga proyek Cell Centered Database (CCDB) yang mengimplementasikan ontologi untuk mendukung query. Begitu juga dengan proyek PAIS (Pathology Analytics Imaging Standards) yang merupakan kolaborasi dari peneliti di Emory University, Georgia State University dan Robert Wood Johnson Medical School, USA (Wang et. al., 2011).

Kolaborasi antar institusi kesehatan juga memegang peranan penting dalam riset, mulai dari laboratorium/rumah sakit, penyedia instrumen tes, peneliti di universitas, hingga peneliti perangkat keras (terutama semikonduktor). Sebagai contoh, Greenville Hospital System University Medical Center (GHS) di South Carolina, USA bekerjasama dengan Lab 21 Inc menggunakan semikonduktor Ion Torrent NGS (buatan Life Technologies) dalam pengurutan DNA agar pasien kanker di GHS bisa mendapatkan umpan balik dan perawatan secara real time secara spesifik, sesuai dengan pola DNA masing-masing. Teknologi yang beredar di pasaran mampu mengurutkan genom manusia dalam hitungan pekan dan berbiaya \$5000 - \$10000, sedangkan Life Technologies mengklaim bahwa sistem baru tersebut mampu mengurutkan keseluruhan genom dalam waktu kurang dari 24 hours dengan biaya di bawah \$1,000 (Dark Daily, 2012).

Inovasi selanjutnya adalah proyek penelitian RAPID GENE dari University of Ottawa Heart Institute (UOHI). Penelitian tersebut melibatkan 200 pasien penyakit jantung dengan sindrom koroner akut atau *stable angina*. Hal yang luar biasa dari penelitian ini adalah bahwa untuk pertama kalinya dalam dunia kedokteran, pengambilan tes dilakukan melalui instrumen tes POCT(point-of-care) genetik yang diletakkan di samping tempat tidur. Dengan ini, informasi gen bisa diperoleh kurang dari 60 menit tanpa perlu dilakukan pengiriman spesimen ke laboratorium pusat (Dark Daily, 2012).

3.2.1 Penelitian PAIS

Penelitian yang dipimpin oleh Fusheng Wang dan dipublikasikan pada bulan Juli 2011 ini membuat tiga buah basisdata di server Dell PowerEdge T410 yang bersistem operasi CentOS 5.5. Model lojik dari PAIS didefinisikan dalam notasi UML (Unified Modelling Language)⁵ yang terdiri dari 62 kelas, seperti ditunjukkan oleh diagram kelas (versi disederhanakan) di Gambar 5.



Gambar 5 Diagram kelas pada PAIS yang disederhanakan (Wang, Kong, Cooper, Pan, Kurc, & Chen, 2011)

Secara garis besar, komponen dalam diagram kelas tersebut adalah sebagai berikut:

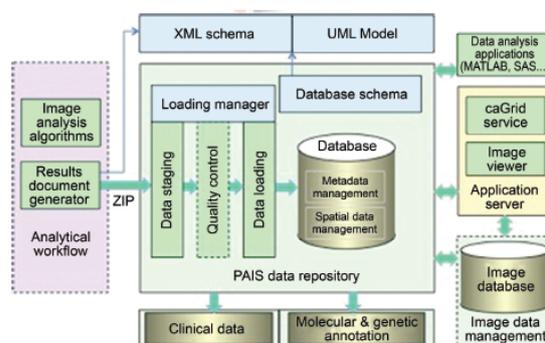
- Metadata yang mendeskripsikan satu atau sekelompok citra.
- Identifikasi bagian citra yang diminati untuk diteliti dan resolusi perbesaran gambar secara relatif.
- Informasi yang terkait dengan pembelajaran algoritma dan analisis percobaan.
- Delineasi dari area khusus di citra dan himpunan nilai dari piksel yang digunakan sebagai fitur dan markup citra. Markup

⁵ Dalam sejarahnya (Blaha & Rumbaugh, 2005), notasi UML berawal dari penggabungan notasi OMT (*Object Modelling Technique*) buatan James Rumbaugh, notasi Booch yang dikembangkan oleh Grady Booch dan notasi Objectory yang dibuat Ivar Jacobson. Standar UML sekarang adalah UML 2.0 yang disetujui pada tahun 2004 oleh OMG (Object Management Group). Meski terdapat beraneka ragam diagram, diagram kelas, diagram *state*, diagram use case, diagram sekuens dan diagram aktivitas merupakan jenis diagram yang populer digunakan dalam pemodelan dengan UML

berasosiasi dengan satu citra atau lebih dan bisa berupa bentuk geometris, bidang permukaan, atau detail area.

- Metadata semantik, baik berkode maupun tidak, yang berfungsi sebagai anotasi (informasi penjelas). Terdapat tiga macam anotasi: observasi, kalkulasi dan inferensi.
- Derivasi sejarah dari markup atau anotasi, termasuk informasi, parameter dan masukan algoritma.

Implementasi basisdata hasil dari pemodelan ini ditunjukkan dalam Gambar 6 dengan basisdata yang terkapsulasi dan mendukung query, baik untuk metadata maupun fitur spasial, dalam memperoleh data, menganalisis data-data yang dibandingkan dan memvalidasi algoritma.

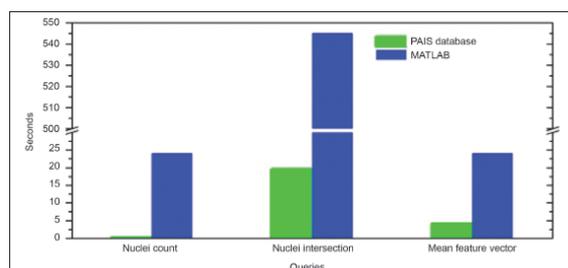


Gambar 6 Implementasi basisdata PAIS (Wang, Kong, Cooper, Pan, Kurc, & Chen, 2011)

Software basisdata yang digunakan adalah IBM DB2 Enterprise Edition 9.7.2 dan terdiri dari:

- Sebuah basisdata TMA berisi hasil analisis citra dari 4740 kanker payudara (ukuran basisdata: 641 MB).
- Sebuah basisdata untuk memvalidasi algoritma, yang menyimpan markup dan anotasi dari dua algoritma segmentasi dan dua himpunan parameter terhadap 18 buah slide. Ukuran basisdata ini adalah 66 GB.
- Sebuah basisdata penelitian tumor otak in silico yang menggunakan hasil dari 307 buah slide TCGA dengan ukuran total 365 GB.

Performa database PAIS sangat bagus, terbukti dalam perbandingan kinerja dengan MATLAB seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7 Perbandingan kinerja PAIS vs MATLAB (270, 28 dan 5 kali lebih baik). (Sumber: Wang, et al., 2011).

4. PENUTUP

Pencatatan data patologi klinik dalam basisdata merupakan salah satu bentuk kolaborasi antara bidang ilmu kesehatan dan informatika. Basisdata patologi klinik bisa ditinjau dari sisi konten (teks atau citra) dan teknologinya. Riset-riset terkini berfokus pada model-model pengelolaan data berformat citra dan peningkatan kualitas instrumen tes. Karena sebagian besar data penelitian didapatkan dari luar negeri, maka peluang riset dalam bidang yang sama untuk lokal Indonesia.

PUSTAKA

- American College of Surgeons. (2012, February 22). *NCDB Benchmark Reports*. Dipetik July 31, 2012, dari NCDB Hospital Comparison Benchmark Reports (HCBR): <https://cromwell.facs.org/BMarks/BMCmp/ver10/Docs/>
- Anacak, Y., Meyer, J. J., & Marks, L. B. (2007, Juni 1). *Association Between the Rates of Synchronous and Metachronous Metastases: Analysis of SEER Data*. Dipetik Desember 14, 2011, dari Journal Oncology Vol 21 No 7: <http://www.cancernetwork.com/display/article/10165/62008?pageNumber=2>
- Berman, J. J. (2011, Januari 24). *Informatics research using publicly available pathology data*. Dipetik Desember 14, 2011, dari Journal of Pathology Informatics: <http://www.jpathinformatics.org/content/2/1/5>
- Berman, J. J. (2009, Januari 1). *Occurrences of Human Cancers by Age*. Dipetik Desember 16, 2011, dari Jules Berman Blog: <http://www.julesberman.info/seerdist.pdf>
- Berman, J. J. (2008, November 18). *Using SEER Public Use Data: 5*. Dipetik Desember 16, 2011, dari Jules Berman Blog: <http://julesberman.blogspot.com/2008/11/using-seer-public-use-data-5.html>
- CAP. (2005, November). *Only time will tell, but LIS experts offer a forecast*. Dipetik Desember 13, 2011, dari CAP Website: http://www.cap.org/apps/docs/cap_today/surveys/11_05_24-56_LISsurvey.pdf
- Dark Daily. (2012, March). *Pathologists at South Carolina Hospital Are Preparing to Use Next Generation Gene Sequencing for Cancer Patients*. Dipetik July 31, 2012, dari Dark Daily: <http://www.darkdaily.com/pathologists-at-south-carolina-hospital-are-preparing-to-use-next-generation-gene-sequencing-for-cancer-patients-727>
- Dark Daily. (2012). *World's First Bedside Genetic Test Provides Results in 60 Minutes without Need to Send Specimen to the Central Pathology Laboratory*. Dipetik July 31, 2012, dari Dark Daily: <http://www.darkdaily.com/world%e2%80%99s-first-bedside-genetic-test-provides-results-in-60-minutes-without-need-to-send-specimen-to-the-central-pathology-laboratory-121411>
- Encyclopaedia Britannica. (2011). *Pathology*. Dipetik Desember 12, 2011, dari Encyclopaedia Britannica: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/446440/pathology>
- Hipp, J. D., Fernandez, A., Compton, C. C., & Balis, U. J. (2011, Juni 14). *Why a pathology image should not be considered as a radiology image*. Dipetik Desember 14, 2011, dari Journal of Pathology Informatics: <http://www.jpathinformatics.org/text.asp?2011/2/1/26/82051>
- Moriyama, I. M., Loy, R. M., & Robb-Smith, A. H. (2011, Maret). *History of the Statistical Classification of Diseases and Causes of Death*. Dipetik Desember 13, 2011, dari Centers for Disease Control and Prevention: http://www.cdc.gov/nchs/data/misc/classification_diseases2011.pdf
- Rubin, D. L., & Desser, T. S. (2008, Februari 21). *A Data Warehouse for Integrating Radiologic and Pathologic Data*. Dipetik Desember 14, 2011, dari Stanford University Website: <http://www.stanford.edu/~rubin/pubs/JACR-RadBank.pdf>
- Samantha, G. (2011, November 26). *Sistem Komputerisasi Patologi Bantu Analisis Kanker*. Dipetik Desember 13, 2011, dari Komput@si LIPI: <http://www.komputasi.lipi.go.id/utama.cgi?artike1&1322306020>
- SEER. (2011, Mei 11). *Seer Research Data Record Description Cases Diagnosed In 1973-2008*. Dipetik Desember 15, 2011, dari SEER Website: <http://seer.cancer.gov/manuals/TextData.FileDescription.pdf>
- Terry, M. (2011, Desember 5). *Transferring Laboratory Data Into The Electronic Medical Record*. Dipetik Desember 13, 2011, dari Dark Daily: <http://www.darkdaily.com/white-papers/transferring-laboratory-data-into-the-electronic-medical-record-technological-options-for-data-migration-in-the-laboratory-information-system>
- USTUR. (2007, Mei 1). *About the USTUR*. Dipetik Desember 12, 2011, dari WSU College of Pharmacy USTUR.
- USTUR. (2011, Agustus 9). *USTUR Pathology Database Download*. Dipetik Desember 12, 2011, dari WSU College of Pharmacy USTUR: <http://www.ustur.wsu.edu/database/index.html>

- USTUR. (2009, April 21). *USTUR Pathology Read Me*. Dipetik Desember 12, 2011, dari WSU College of Pharmacy USTUR: http://www.ustur.wsu.edu/Case_Studies/Pathology/doc/Pathology_ReadMe.doc
- Wang, F., Kong, J., Cooper, L., Pan, T., Kurc, T., & Chen, W. (2011, Juli 26). A data model and database for high-resolution pathology analytical image informatics. Dipetik Desember 14, 2011, dari Journal of Pathology Informatics: <http://www.jpathinformatics.org/text.asp?2011/2/1/32/83192>