

PENGELASAN IMEJ SEL SERVIKS DENGAN RANGKAIAN NEURAL BERKONVOLUSI

SITI HAJAR BINTI ALEWI

AFZAN ADAM (TS. DR.)

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia

ABSTRAK

Kanser Serviks merupakan kanser pembunuh ketiga terbesar di kalangan wanita. Dengan itu, diagnosis dan prognosis awal jenis kanser sangat diperlukan untuk menetapkan arah perjalanan pesakit setelah di diagnos. Malaysia telah menawarkan program saringan kanser serviks secara percuma diseluruh negara. Hal ini meningkatkan beban kerja para patologist yang menganalisa timbunan sampel serviks secara manual. Sel ini akan dibawa ke makmal patologi untuk dianalisis di bawah mikroskop. Kaedah ini berkesan namun mengambil masa yang lama. Dengan adanya diagnosis berbantuan komputer, beratus diagnosis boleh dijalankan dalam masa yang sama. Klasifikasi sel menggunakan menggunakan algoritma pembelajaran mesin mampu mengurangkan beban para patologi. Dataset yang digunakan adalah gambar-gambar sel dari kawasan serviks iaitu Imej Sel Squamous Serviks di kawasan luaran atau pangkal serviks. Imej Sel Kanser yang selalunya dapat dikenalpasti dengan bentuknya yang tidak sekata dan saiz yang besar serta sedikit gelap dari kebiasaannya dapat di kenal pasti dan dikesan dengan akurat dan tepat. Diagnosis sistem akan mengenal pasti sama ada sampel sel serviks normal atau tidak normal bagi menentukan kaedah rawatan bertepatan dengan pesakit bagi bertindak sebagai lapisan saringan pertama sebelum proses analisa oleh doktor patologi.

1 PENGENALAN

Kanser adalah penyakit yang terjadi apabila berlaku pertumbuhan sel abnormal. Sel abnormal ini berbeza dari segi bentuk, warna dan juga saiz. Bagi sel serviks, perubahan ini selalunya disebabkan oleh papillomavirus manusia atau *Human Papillomavirus (HPV)* yang berpindah dari seorang individu melalui sentuhan semasa aktiviti seks. Menurut kenyataan yang dibuat oleh Kementerian Kesihatan Malaysia (2016) di *Malaysian National Registry Report 2007-2011*, Kanser Pangkal Rahim (Serviks) merupakan barah ketiga paling biasa di negara Malaysia selepas kanser payudara dan kanser kolorektal dengan peratus sebanyak 7.6 peratus

. Oleh itu, kerajaan Malaysia telah menawarkan saringan kanser pangkal rahim dengan pengambilan sampel sel secara percuma.

Ujian *Papanicolaou Smear* (Pap Smear) dilakukan bagi mengesan perubahan sel di pangkal barah. Ujian Pap Smear dilakukan dengan memasukkan alat bernama speculum untuk mengambil sampel sel dari pangkal rahim. Kebiasaannya contoh sel akan dibawa ke makmal untuk dianalisa oleh pakar patologi dan keputusan boleh diperolehi dalam masa seminggu ke tiga minggu (Lori Smith, 2019). Walau bagaimanapun, sampel sel ini terlalu banyak untuk dianalisa oleh ahli pathologi setiap hari, disamping kes-kes lain yang lebih mendesak. Ini boleh mengakibatkan proses analisa dan keputusan ujian menjadi lewat.

Menurut Menteri Kesihatan Malaysia dalam buku *National Strategic Plan for Cancer Control Programme (2016)*, kekurangan para patologi di Malaysia merupakan suatu masalah yang perlu diberi perhatian bagi memastikan kualiti servis dijaga dan diagnosis yang cepat dan tepat boleh dilakukan bagi keselamatan setiap pesakit. Peningkatan infrastruktur dan peralatan perubatan juga diperlukan bagi mengurangkan insiden berkaitan kanser servikal dalam meningkatkan kesedaran wanita terhadap keperluan untuk melakukan ujian saringan Pap. Pada tahun 2015, hanya 14 hospital kerajaan dan 8 hospital pakar yang menawarkan perkhidmatan histopatologi manakala perkhidmatan patologi kimia, haematologi dan microbiologi disediakan di semua hospital di Malaysia.

Tambahan pula, objektif 4 dalam *National Strategic Plan for Cancer Control Programme (2016)*, adalah untuk meningkatkan kadar deteksi kanser serviks di peringkat awal. Menteri Kesihatan Malaysia (MoH) bercadang untuk memperkenalkan servis berbantuan komputer di hospital – hospital besar seperti Hospital Sultanah Aminah di Johor Bahru dan Hospital Serdang.

Oleh itu, proses pengelasan menggunakan servis berbantuan komputer telah dicadangkan dan mampu membuat diagnosis yang cepat bagi mengelakkan penebaran barah ke tahap lebih tinggi. Rawatan bagi pengelasan awal kanser mempunyai peratus kesembuhan yang jauh lebih tinggi. Selain itu, ia terbukti mampu membantu meringankan para patologi di makmal-makmal patologi seluruh Malaysia.

2 PENYATAAN MASALAH

Berdasarkan kajian dibuat, beberapa masalah dapat dikemukakan seperti:

- 1) Kekurangan doktor dan ahli patologi untuk menganalisa slaid ujian pap sel serviks. (Ministry of Health Malaysia, 2016)
- 2) Proses pengelasan sel tidak normal serviks di Malaysia dijalankan secara manual dan memakan masa dari seminggu ke tiga minggu (Lori Smith, 2019).

3 OBJEKTIF

Objektif utama projek ini adalah untuk membangunkan sistem pengelasan sel abnormal bagi imej tisu pangkal rahim yang diperoleh semasa ujian pap dijalankan. Bagi mencapai tujuan ini, beberapa tonggak kecil perlu dibuat seperti:

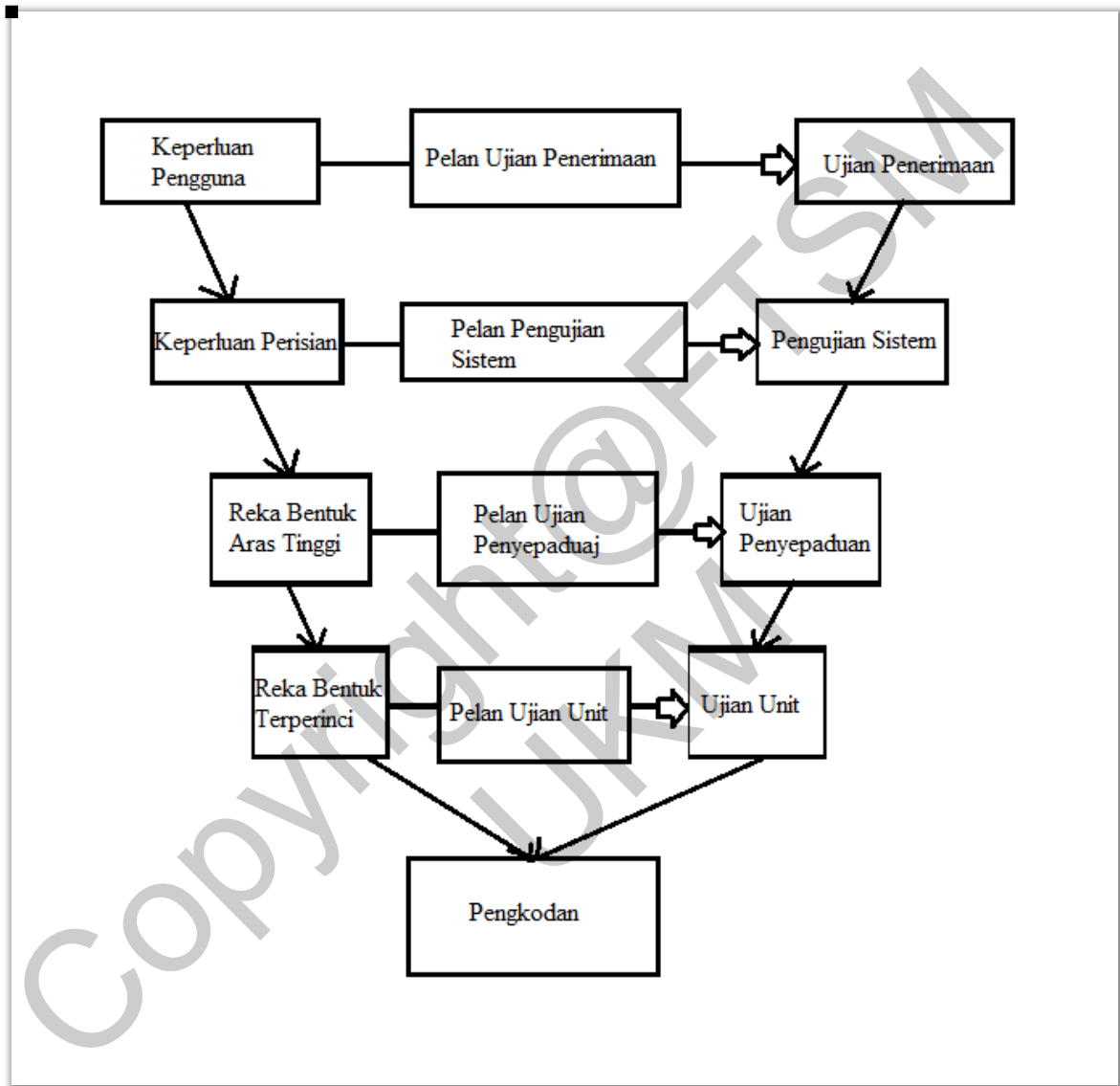
1. Mendapatkan set data dari jawatankuasa HCTM dan kesahihan segmentasi imej sel dari doktor patologi.
2. Mencadangkan teknik pembelajaran mesin yang ssuai untuk mengelas imej sel normal dan sel tidak normal di serviks.

4 METODOLOGI SISTEM

Antara elemen yang akan dibincangkan dalam bab ini termasuk spesifikasi keperluan perkakasan dan perisian. Bab ini turut menceritakan tentang keperluan fungsian perisian dan bukan perisian serta senibina perisian. Setiap fasa akan disentuh dengan mendalam agar sistem dibina dapat difahami dengan mudah dan ringkas. Selain itu, spesifikasi keperluan pengguna juga turut dibincangkan dalam bab ini.

Pembangunan sistem ini menggunakan pembangunan kitaran hayat atau Software Development Life Cycle (SDLC) model V. SDLC Model-V berbentuk seperti V di mana pelaksanaan proses berlaku secara berturutan dan merupakan lanjutan kepada model air terjun yang merupakan asas SDLC. Setiap fasa pembangunan dilakukan secara berperingkat sepadan dengan peringkat fasa ujian.

Setiap kitaran fasa pembangunan dan fasa ujian dilakukan secara langsung bagi memastikan kelangsungan projek. Model ini bukan sahaja mudah untuk difahami dan digunakan tetapi ia juga berdisiplin kerana fasa seterusnya dijalankan sebaik sahaja fasa sebelum selesai. Model ini juga mampu mengesan kecacatan di peringkat yang awal.



Rajah 1 SDLC Model V

4.1 Fasa Perancangan

Proses perancangan yang teliti penting bagi memastikan kelancaran proses pembangunan projek. Dengan penghasilan spesifikasi reka bentuk yang terperinci dan tersusun, permasalahan projek dapat dikurangkan. Kos-kos yang berkaitan dengan pembangunan projek juga dapat

diminimakan dengan perancangan yang teliti. Proses perancangan keperluan sistem projek amat penting dalam pembangunan sistem. Bagi melancarkan proses pembangunan, pemasalahan sepanjang proses pembangunan dapat dikenalpasti sesama proses perancangan reka bentuk sistem dan kemudian menjimatkan masa. Dokumen SRS turut membicarakan tentang keupayaan sistem serta merekodkan syarat-syarat dan kekangan bagi sistem yang dibina. Penerangan dokumen ini dapat memastikan objektif pembangunan sistem pengesanan sel abnormal serviks tercapai.

4.2 Fasa Analisis

Fasa ini yang membincangkan tentang aspek-aspek pembangunan sistem pengesanan sel kanser dan menyediakan panduan dan maklumat berguna yang diterbitkan dalam bidang perubatan spesifiknya patologi. Maklumat diperoleh dari artikel, jurnal dan sistem sedia ada dari Internet yang boleh dipraktikkan ke dalam proses pembangunan sistem. Dalam fasa ini, sorotan kesusasteraan mengenai sistem pengesanan sel abnormal dan pemprosesan imej akan dibincangkan dan dibandingkan. Kepelbagaian teknik akan dikaji dan digunakan untuk mencapai objektif sebagaimana disasarkan. Teknik pemerhatian dan pembacaan perlu dilaksanakan agar sebuah sistem pengesanan sel abnormal serviks boleh dibina dengan baik.

4.2.1 KAJIAN PERBANDINGAN SISTEM SEMASA

Setelah kajian dibuat, beberapa sistem pengelasan sel abnormal menggunakan imej pap sudah dibuat sebelum ini. Sistem seawal tahun 1995 dimana mesin deteksi AutoPap 300 dikenalkan ke dunia perubatan. Jadual 1 menunjukkan perbandingan sistem semasa.

- i. PAPNet
- ii. AutoPAP 300
- iii. PAT

Jadual 1 Perbandingan Sistem Semasa

Sistem Sedia Ada	Kelebihan	Kekurangan
PAPNet	Menganalisis 100 slaid pap sekaligus Akurasi tinggi	Hanya menganalisis 100 slaid pap smear sekaligus Tidak mengesan tahap kanser
AutoPAP 300	Mengambil masa yang singkat Markah QC (Kawalan Kualiti) yang tinggi Mengambil masa yang singkat	Mesin yang besar dan kompleks Mesin yang besar dan kompleks Hanya menganalisis 150 slaid pap sekaligus
PAT	Akurasi tinggi dan mempunyai false negative rate yang rendah Mampu menganalisis beratus kes dalam masa yang singkat (3 minit) Kos efektif Kos penyelenggaraan rendah Peratusan akurasi, sensitiviti dan spesifikasi yang tinggi	Tidak kos efektif, kos penyelenggaraan yang tinggi Sistem yang kompleks Mahal dari segi komputasional

4.3 Fasa Reka Bentuk

Setiap pembangunan sistem memerlukan analisa dan method pelaksanaan supaya objektif projek tercapai. Reka bentuk yang terlibat dalam projek ini akan diterangkan secara mendalam dalam bab ini. Antaranya, spesifikasi reka bentuk terdiri daripada model konseptual, rajah konteks, carta alir, reka bentuk seni bina dan reka bentuk antaramuka.

Spesifikasi reka bentuk merupakan sesuatu proses yang dapat menunjukkan penggambaran yang jelas tentang bagaimana pengaliran data ke dalam sistem, pemprosesan data dan persembahan data yang berlaku serta memperincikan keperluan khusus projek. Perancangan yang sistematik amat penting bagi mengenalpasti masalah yang mampu timbul semasa pelaksanaan projek serta menganalisa cara menangani masalah tersebut.

4.4 Fasa Pengujian

Pengujian merupakan proses menilai samada perisian dibina atau komponen yang terdapat di dalam perisian memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Selain itu, proses pengujian sistem juga bertujuan untuk mengesan sebarang ralat dan masalah yang terdapat pada sistem ini. Proses pengujian penting bagi memastikan agar sistem dapat berfungsi tanpa sebarang masalah. Jika terdapat masalah, pengubahsuaian kod dan sistem akan diperbaiki. Pembangunan akan menguji perisian mengikut beberapa peringkat iaitu pelan pengujian perisian, spesifikasi

reka bentuk pengujian, spesifikasi pengujian perisian, spesifikasi prosedur pengujian dan log pengujian.

Proses pengujian atau evaluasi model pengelasan dijalankan menggunakan 400 keping gambar bagi proses penilaian model pengelasan. Proses evaluasi membaca 1 imej pada setiap pusingan pengujian pada setiap 100 langkah daripada 2000 langkah. Proses pembinaan model pengelasan dijalankan bagi memastikan kelancaran dan akurasi model pengelasan sel serviks menggunakan 500 gambar sel normal dan 500 gambar sel abnormal.

Ketepatan dan Sensitiviti

Ketepatan dalam satu-satu kelas klasifikasi adalah jumlah jangkakan positif yang dikalkulasi dalam satu-satu proses pengelasan. Ketepatan boleh dikalkulasi seperti berikut:

$$Ketepatan = \frac{PS}{PS + NS}$$

Dimana; PS adalah nilai Positif-sebenar dan NS adalah nilai Negatif-sebenar model pengelasan. Sensitiviti pula boleh didefinisikan sebagai kadar positif-sebenar atau sensitiviti model pengelasan yang ditunjukkan dalam persamaan dibawah.

$$Sensitiviti = \frac{PS}{PS + NP}$$

Nilai positif-sebenar dibahagi dengan jumlah positif-palsu dan negatif-palsu (NP). Bagi mempunyai tahap ketepatan model pengelasan yang tinggi, nombor positif-palsu (PP) dan jika sebegitu, nombor recall atau sensitiviti model pengelasan akan turut berkurang. Pro dan kontra bagi mencapai prestasi ketepatan dan sensitiviti terbahagi disini. Jika model pengelasan mempunyai tahap sensitiviti yang tinggi, ketepatan model akan berkurang dan begitu juga sebaliknya.

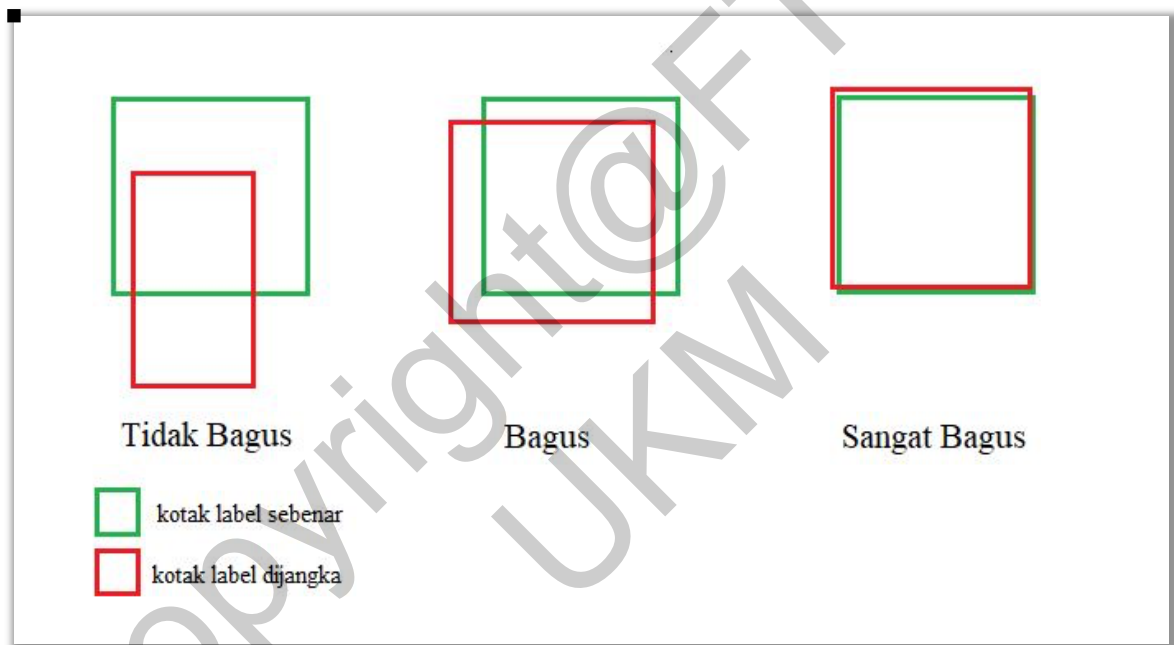
Intersect over Union (IoU)

Bagi model pengelasan imej, IoU menggunakan kotak label bagi mengukur ketepatan dan sensitiviti model. Sebagai contoh IoU threshold disetkan kepada 0.5 maka jika nilai kotak label

jangkaan ialah 0.6, jangkaan akan dikelaskan sebagai positif-sebenar dan sebaliknya dikelaskan sebagai positif-palsu.

$$\text{IoU} = \frac{\text{Kawasan Bercanggah}}{\text{Kawasan Keseluruhan}}$$


Rajah 4.17 Persamaan IoU



Rajah 4.12 Perbandingan kotak label bagi persamaan IoU

Sensitiviti dan ketepatan model pengelasan berasaskan deteksi imej menggunakan nilai IoU bagi proses pengiraan.

Mean Average Precision (mAP)

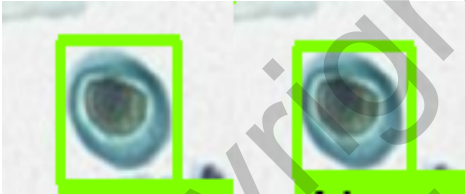
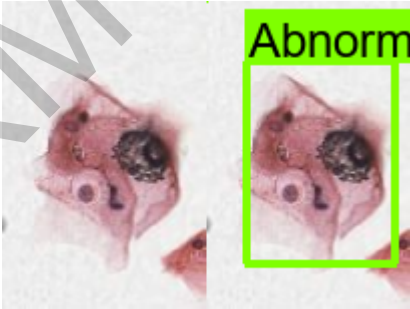

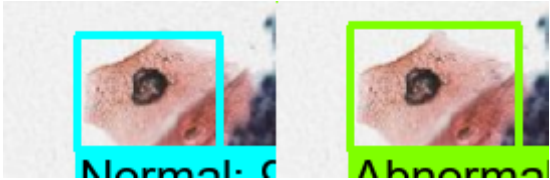
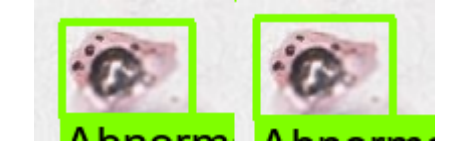

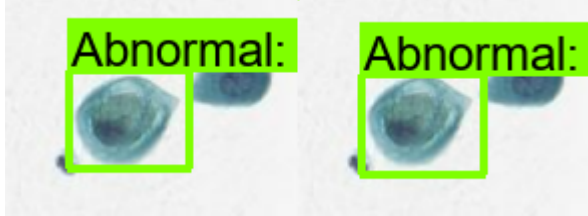
$$\text{MAP} = \frac{\sum_{q=1}^Q \text{AveP}(q)}{Q}$$

Persamaan matematik diatas menunjukkan cara mengkalkulasi mAP bagi proses evaluasi dimana Q merupakan nombor queri didalam sesebuah set batch dan $AveP(q)$ ialah *average precision* (AP) atau purata ketepatan bagi setiap queri, q . Formula ini menceritakan bagi satu-satu query, q , kalkulasi akan dibuat terhadap AP tersendiri. Kemudian, *mean* bagi kesemua skor AP ini akan memberikan nombor skor mAP sama ada bagi pengiraan ketepatan atau sensitiviti model pengelasan yang mampu menguji tahap kecekapan model latihan untuk satu-satu queri yang dijalankan.

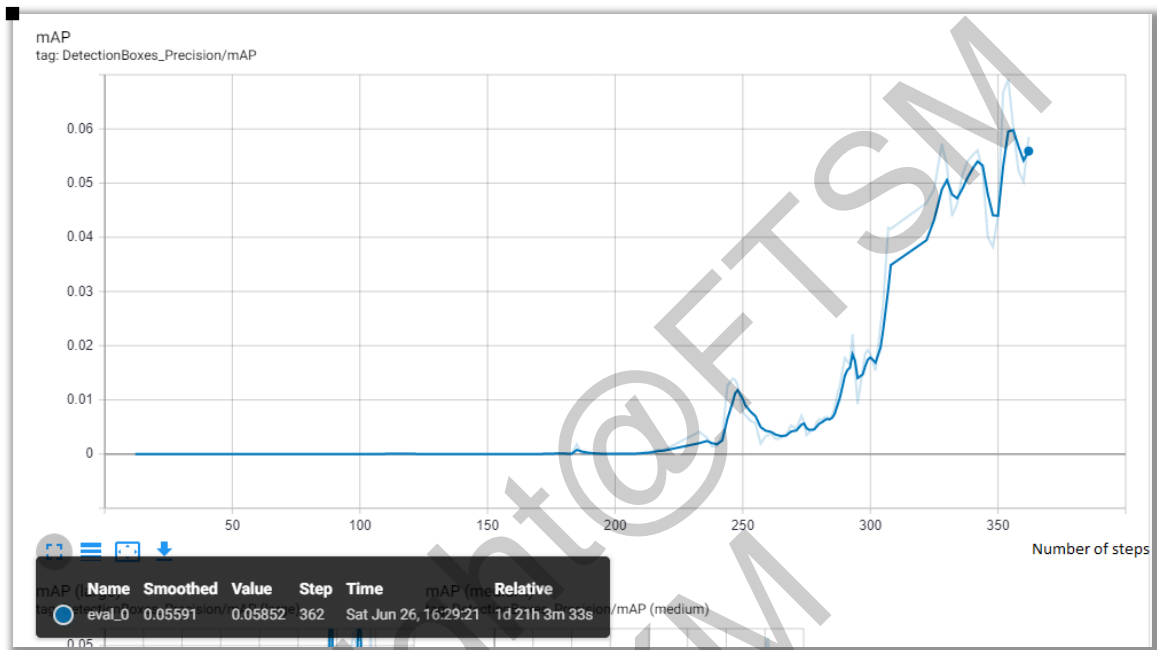
5 HASIL KAJIAN

Contoh imej positif-sebenar dan positif-palsu dalam proses pengujian. Imej disebelah kanan adalah imej yang dilabel (*ground-truth*) dan imej di sebelah kiri menunjukkan pengecaman hasil pengklasifikasian model latihan.

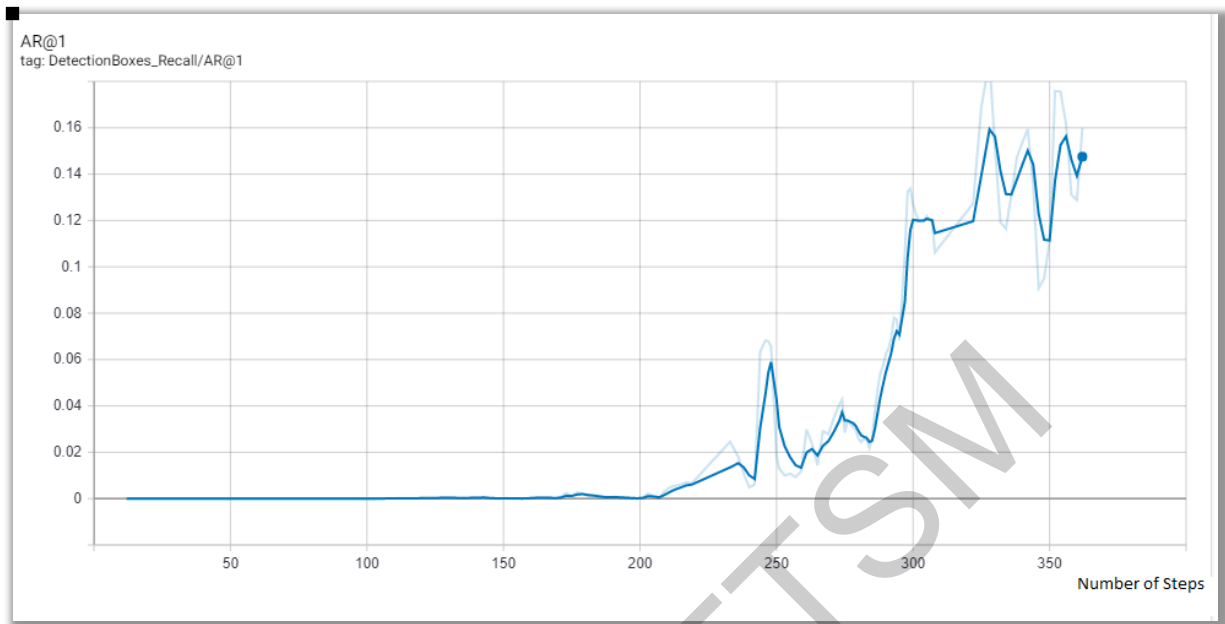
Jadual 2 Contoh hasil Pengujian Model Pengelasan

Positif-sebenar	Positif-palsu
	
	
	
	

Tahap ketepatan model diuji dengan nilai mAP yang menguji model menurut kadar ia mengklasifikasi sesuatu imej dengan bounding box yang dilabel sebelum proses latihan dan dicomparekan dengan bounding box selepas proses latihan. mAP yang tinggi menunjukkan keberkesanan model klasifikasi untuk mengelaskan sel setepat-tepatnya. Graf dibawah menunjukkan mAP yang didapati semasa proses evaluasi model klasifikasi sel serviks.



Rajah 4.13 Graf mean Average Precision (mAP) bagi ketepatan



Rajah 4.20 Graf mAP bagi sentiviti model pengelasan

Model pengelas menggunakan *frozen inference graph* yang bersifat tidak berubah dan konstan. Bersesuaian dengan penggunaan web, *frozen inference graph* hanya mengambil bahagian ramalan yang dilakukan oleh model pengelas (Sachan, 2020). Segala meta-data tidak disimpan dalam format ini. Oleh itu, model pengelas bersifat konstan dan tidak berubah ramalan setiap kali melakukan prediksi

Akurasi

Akurasi adalah salah satu metrik bagi proses evaluasi model pengelasan. Secara umumnya, akurasi adalah pecahan ramalan model yang betul. Secara rasminya, akurasi mempunyai definisi berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Jumlah ramalan betul}}{\text{Jumlah total ramalan}}$$

Jadual 3

Jadual Pengujian Akurasi Model Pengelasan

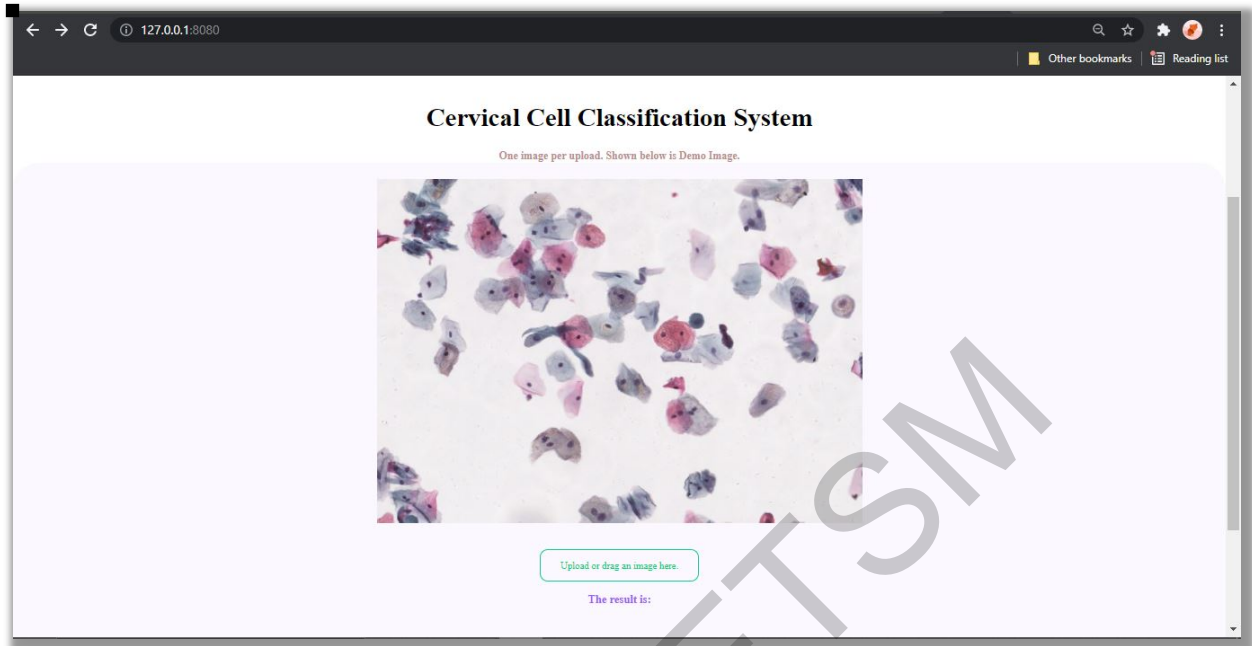
<p>Positif Sebenar (PS):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realiti: Abnormal 	<p>Positif Palsu (PP):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realiti: Normal
---	---

<ul style="list-style-type: none"> • Predikasi: Abnormal/Tiada • Bilangan PS: 42 (Abnormal)/7 (Tiada) 	<ul style="list-style-type: none"> • Predikasi: Abnormal/Tiada • Bilangan PP: 43 (Abnormal)
<p>Negatif Sebenar (NS):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realiti: Abnormal • Predikasi: Normal • Bilangan NS: 1 	<p>Negatif Palsu (NP):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realiti: Normal • Predikasi: Normal • Bilangan NP: 7

$$Akurasi: \frac{PS + NS}{PS + NS + PP + NP} = \frac{42 + 7 + 0}{42 + 7 + 1 + 43 + 7}$$

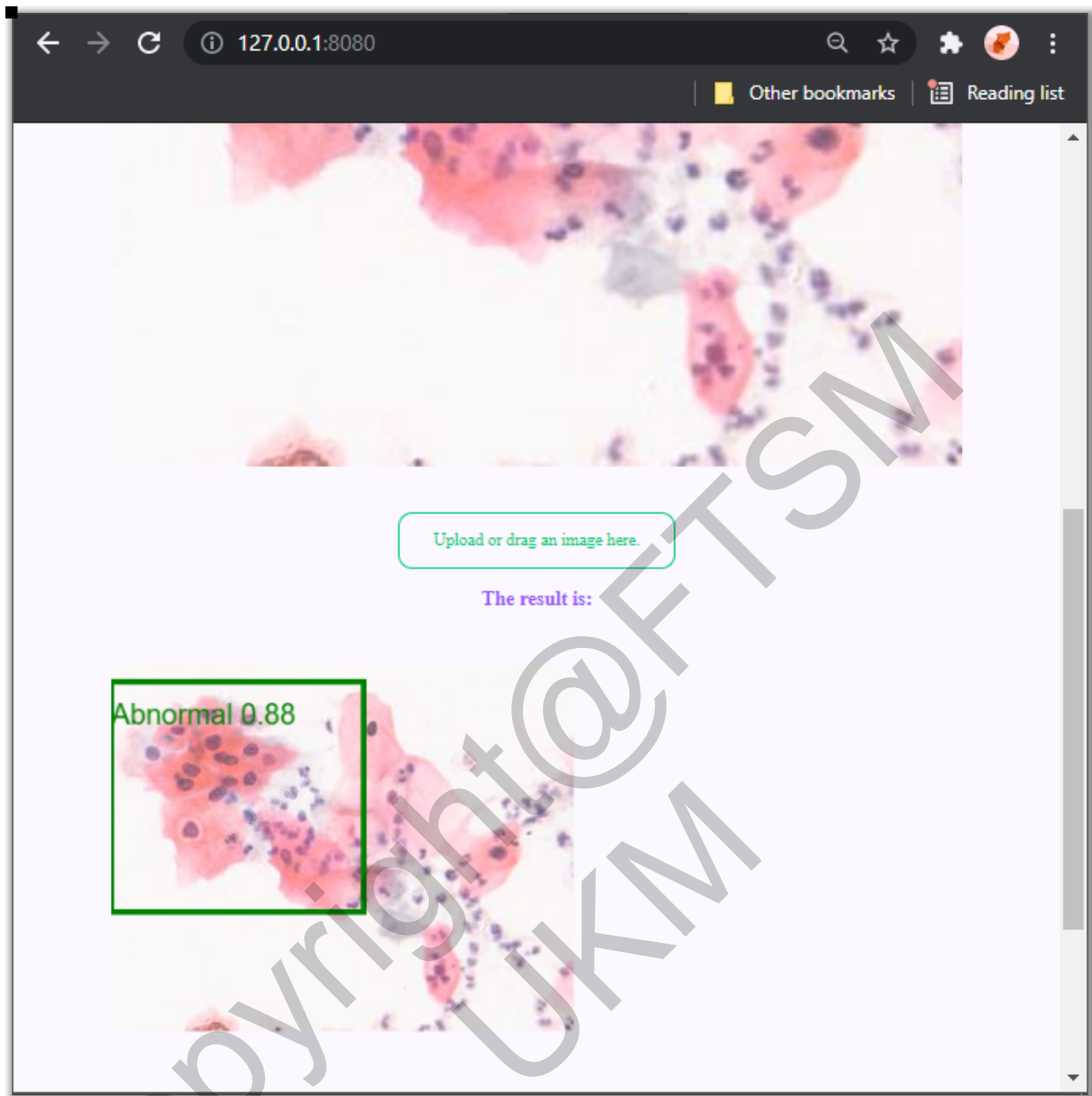
Akurasi model berjumlah 49% (42 predikasi betul dan 8 tiada predikasi daripada 100 jumlah contoh imej). Imej yang tidak diberi ramalan akan jatuh ke ramalan abnormal. Bagi model ini jumlah akurasi tidak boleh menunjukkan nilai prestasi model pengelasan. Daripada 100 contoh imej yang diambil, jika 1 daripada imej abnormal di kelaskan sebagai normal iaitu Negatif Sebenar, 1 daripada 100 kes akan dikelaskan sebagai normal dan disalah diagnos.

Laman web yang dibangunkan menggunakan Python Flask mempunyai dua bahagian iaitu *frontend* bagi memaparkan antara muka web dan memuat naik imej serta paparan keputusan dan *backend* bagi proses pengelasan sel. Contoh antara muka web yang telah dibangunkan adalah seperti berikut.



Rajah 4.21 Antara Muka Web

Pengguna boleh memilih untuk menekan butang ataupun hanya menyeret imej yang ingin dikelaskan. Antara contoh paparan keputusan bersama kotak *bounding* dan skor *confidence* adalah seperti berikut.



Rajah 4.22 Contoh Paparan Keputusan

6 KESIMPULAN

Projek dibangunkan bertujuan untuk membina sebuah sistem pengelasan sel serviks dari imej hasil ujian pap smear. Imej boleh dimuat naik ke laman web bagi proses pengelasan dan keputusan imej akan menunjukkan imej yang dilabel dengan kotak bounding. Projek juga dibina di laman web bagi memudahkan mobiliti model pengelasan agar pengguna boleh mengelaskan Sel Serviks dari mana-mana peranti elektronik dengan sambungan internet.

Projek mempunyai dua bahagian iaitu pembangunan model pengelasan dan pembangunan web antara muka. Proses pembangunan pengelasan projek juga terbahagi kepada

dua iaitu proses latihan dan proses pengujian model. Proses pembangunan web memerlukan integrasi antara model pengelasan yang digunakan dan server web yang digunakan. Model pengelasan bertindak sebagai otak dan memperoleh input dari laman web. Tensorflow.js berperanan sebagai orang tengah dalam menghantar maklumat ke model yang sudah terlatih di Tensorflow API.

Latihan menggunakan teknik CNN mengambil masa 4 hari 1 jam secara total dengan input sebanyak 600 imej sel serviks normal dan abnormal. Pengujian sistem dilakukan bagi mengenal pasti mAP model pengelasan yang mampu menentukan kadar ketepatan model pengelasan yang terlatih. Imej sebanyak 400 digunakan dalam proses pengujian dan skor 0.05852 mAP bagi mengukur ketepatan model pengelasan telah dicatatkan. Manakala, skor sensitiviti model pengelasan telah mencatatkan mencapai 0.1475 mAP.

Kebaikan projek termasuk status mobiliti sistem pengelas yang boleh diakses dari mana-mana peranti elektronik dengan sambungan internet dan pelayar web seperti Google Chrome dan Safari. Selain itu, sistem juga mampu membantu membuat pengelasan dengan cepat dengan kadar 12 saat secara purata. Hal ini sekaligus melaksanakan objektif projek untuk mengurangkan masa pengesanan dari 2-3 jam bagi pengesanan manual oleh doktor ke beberapa minit secara total.

Projek turut menghadapi berbagai kekangan dan limitasi daripada proses perolehan data ke proses pembangunan dan pengujian web. Selain dari kekangan masa dan minda, kekangan berjumpa dengan pakar patologi secara bersemuka juga merupakan masalah besar yang harus dihadapi. Perolehan data memakan masa yang lama kerana proses pengesanan terhadap data yang perlu dilabel sebetulnya sebelum proses latihan model juga merupakan masalah yang dihadapi dalam proses pembangunan projek.

Penambahbaikan yang boleh dilakukan dalam projek ini pada masa akan datang adalah meningkatkan akurasi model pengelasan. Hal ini boleh terlaksana dengan menambah data dalam proses latihan model pengelasan. Selain itu, imej juga boleh di pra-proses sebelum proses latihan berlaku bagi meningkatkan akurasi model pengelas. Projek juga dicadangkan untuk diteruskan dengan proses evaluasi oleh pengguna iaitu doktor patologi.

7 RUJUKAN

- Aziz, D. A. (2012, April 26). *Kanser Pangkal Rahim (Serviks)*. Didapatkan dari MyHealth Kementerian Kesihatan Malaysia: <http://www.myhealth.gov.my/kanser-pangkal-rahim/>
- Bhatla, N. B. (2019). Revised FIGO staging for carcinoma of the cervix uteri. *International journal of gynaecology and obstetrics: the official organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics*, *145(1)*, 129–135. doi:<https://doi.org/10.1002/ijgo.12749>
- Borhan, D. N. (2012, April 26). *Kanser Servik*. Didapatkan dari MyHealth Kementerian Kesihatan Malaysia: <http://www.myhealth.gov.my/kanser-serviks/>
- Bureau of Medicine and Surgery. (2000). *Operational Obstetrics & Gynecology - 2nd Edition. The Health Care of Women in Military Settings*.
- Cenci, M. N. (2000). PAPNET-assisted primary screening of conventional cervical smears. *Anticancer research*, *20(5C)*, 3887–3889.
- Cohen, S. (2015, January 8). *What challenges has Pinterest encountered with Flask?* Didapatkan dari Quora: <https://www.quora.com/What-challenges-has-Pinterest-encountered-with-Flask/answer/Steve-Cohen?srid=hXZd&share=1>
- Computer Science Department, University of Cape Town. (2011, January). *Context diagrams Chapter 6: Data-Flow Diagrams*. Didapatkan dari MSc-IT Study Material: https://www.cs.uct.ac.za/mit_notes/software/htmls/ch06s06.html#:~:text=A%20contex%20diagram%2C%20sometimes%20called,the%20system%20and%20external%20entities.
- Lori Smith, B. M. (2019, February 18). *Everything you need to know about the Pap smear*. Didapatkan dari <https://www.medicalnewstoday.com/articles/311995> MedicalNewsToday:
- Ministry of Health Malaysia. (2016). *Malaysian National Cancer Registry Report 2007-2011*. Putrajaya: National Cancer Institute.
- Ministry of Health Malaysia. (2016). *NATIONAL STRATEGIC PLAN FOR CANCER CONTROL PROGRAMME*. Putrajaya: Non-Communicable Disease Section (NCD).
- Moroney, L. (2020). *AI and Machine Learning for Coders*. O'Reilly Media, Inc.
- Neuralmagic. (2020, 7 23). *How to Get Faster MobileNetV2 Performance on CPUs*. Didapatkan dari Neural Magic: <https://neuralmagic.com/blog/faster-mobilenetv2/>

- Parra, S. G. (2019). *Development of Low-Cost Technologies for Cervical Cancer Prevention in Low-Resource Settings*. Texas: Rice University.
- Patten, S. F. (1997). The AutoPap 300 QC System multicenter clinical trials for use in quality control rescreening of cervical smears: I. A prospective intended use study. *Cancer*, 81(6), 337–342. doi:[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0142\(19971225\)81:6<337::aid-cncr7>3.0.co;2-i](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0142(19971225)81:6<337::aid-cncr7>3.0.co;2-i)
- Rosziati Ibrahim, S. Y. (2010, January). Formalization of the data flow diagram rules for consistency check. *arXiv preprint arXiv*. Didapatkan dari MSc-IT Study Material: https://www.cs.uct.ac.za/mit_notes/software/htmls/ch06s06.html#:~:text=A%20cont%20diagram%2C%20sometimes%20called,the%20system%20and%20external%20entities.
- Sachan, A. (2020, July 9). *Freeze Tensorflow models and serve on web*. Didapatkan dari CV-Tricks: <https://cv-tricks.com/how-to/freeze-tensorflow-models/>
- Sudhir Sornapudi, R. A. (2020). *Cervical Whole Slide Histology Image Analysis*. Missouri: medRxiv.
- The American Cancer Society medical and editorial content team. (2020, July 30). *Tests for Cervical Cancer*. Didapatkan dari American Cancer Society: <https://www.cancer.org/cancer/cervical-cancer/detection-diagnosis-staging/how-diagnosed.html>
- Visual Paradigm Flowchart*. (t.t). Didapatkan dari Visual Paradigm: <https://online.visual-paradigm.com/diagrams/solutions/free-flowchart-editor-online/#:~:text=Visual%20Paradigm%20Online%20features%20an,No%20registratio%20required.>
- William, W. W.-E. (2019). A pap-smear analysis tool (PAT) for detection of cervical cancer from pap-smear images. *BioMed Eng OnLine*, 16. Didapatkan dari <https://doi.org/10.1186/s12938-019-0634-5>
- World Health Organization. (2015). Cancer Fact Sheet: Breast Cancer. *Cancer Fact Sheet*, 6.
- Zahra, F. (2020, 10 21). *Apa Itu Kanser Serviks: Tanda, Punca & Rawatan Yang Wanita Perlu Ambil Peduli*. Didapatkan dari helloDoktor: <https://hellodoktor.com/kanser/kanser-serviks/servik-adalah/#gref>