

Verifikasi Alur Distribusi Vaksin di Indonesia Menggunakan Logika Temporal Linear

Linear Temporal Logic Verification on Vaccine Supply Chain in Indonesia

M. Fikri Suyudi W¹

¹Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom,

1suyudifikri@gmail.com

Abstrak

Terjadinya kasus penyebaran vaksin palsu di Indonesia pada pertengahan tahun 2016 merupakan kejadian buruk yang membuat keamanan alur distribusi vaksin dipertanyakan. Alur distribusi diatur oleh PT. Bio Farma. Pada tugas akhir ini penulis melakukan verifikasi alur distribusi vaksin di Indonesia menggunakan pendekatan metode formal, yaitu Logika Temporal Linear.

Alur distribusi vaksin terlebih dahulu dimodelkan dalam diagram aktivitas. Kemudian diagram aktivitas diverifikasi terhadap persyaratan yang diatur oleh BPOM (Badan Pengawas Obat dan Makanan) dan WHO (*World Health Organization*). Verifikasi dilakukan dengan *model checker* NuSMV. Dari tugas akhir ini, penulis menyimpulkan alur distribusi vaksin di Indonesia terbukti aman secara formal terhadap beberapa persyaratan keamanan yang diatur oleh BPOM dan WHO. Namun, alur distribusi tersebut tidak dapat secara spesifik menjamin beberapa persyaratan keamanan yang ditentukan dan beberapa persyaratan fungsional tambahan.

Kata Kunci: vaksin, metode formal, logika temporal linear, NuSMV.

1 Pendahuluan

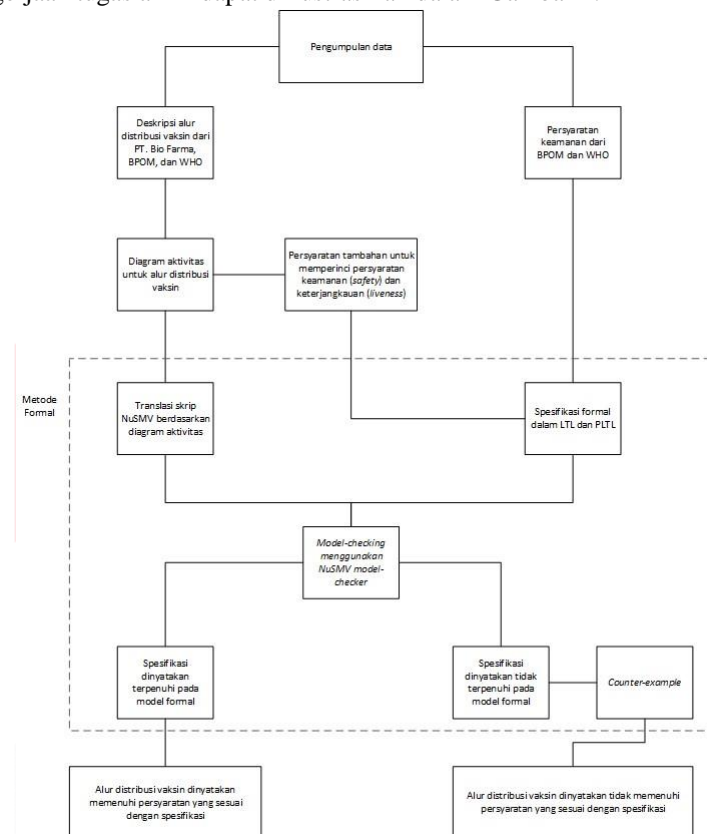
Munculnya kasus vaksin palsu pada tahun 2016 membuat orang tua yang memiliki bayi atau balita menjadi cemas dan takut. Hal itu karena mereka takut anaknya mendapat vaksin palsu yang dapat berdampak buruk pada kesehatan anak mereka [1]. Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan, vaksin palsu dibuat dengan memakai botol vaksin yang sudah dipakai dan mendistribusikannya melalui toko obat [2]. Pada proses kasus vaksin palsu terdapat keterlibatan petugas kesehatan dalam proses distribusi vaksin ke rumah sakit dan klinik. Oleh karena itu, penulis ingin melakukan verifikasi terhadap alur distribusi vaksin di Indonesia.

Di Indonesia, perusahaan resmi yang memproduksi vaksin adalah PT. Bio Farma [3]. Dalam proses distribusinya, PT. Bio Farma dibantu oleh perusahaan-perusahaan yang telah resmi ditunjuk oleh pemerintah. Sistem pendistribusian vaksin di Indonesia menggunakan Sistem Rantai Dingin (*Cold Chain System*), yaitu suatu prosedur yang dilakukan untuk tetap menjaga suhu vaksin dalam keadaan stabil agar keefektifan, keamanan, keampuhan, dan kualitas vaksin tetap terjaga. Sistem Rantai Dingin yang diterapkan selama pengiriman dilakukan dengan mengikuti aturan Badan Pemeriksa Obat dan Makanan (BPOM) Republik Indonesia dan *World Health Organization* (WHO) [4, 5].

Metode formal telah digunakan dalam dunia kesehatan untuk menjamin keamanan dan kualitas protokol medis [6, 7, 8]. Pada [6], metode formal digunakan untuk memverifikasi alur distribusi darah yang diatur oleh *The Food and Drug Administration* di Amerika Serikat. Pada [7], metode formal dipakai untuk meningkatkan keamanan (*safety*) dan keandalan pada studi kasus pelayanan kesehatan. Pada [8], metode formal digunakan untuk menemukan anomali pada protokol medis dan meningkatkan kualitas dari protokol tersebut.

Berdasarkan penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, pada tugas akhir ini penulis melakukan verifikasi terhadap alur distribusi vaksin di Indonesia yang diatur oleh PT. Bio Farma. Untuk melakukan hal tersebut, penulis menggunakan pendekatan yang serupa dengan verifikasi presensi RFID [9]. Pertama, penulis membuat diagram aktivitas berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Bio Farma. Kemudian data yang diperoleh dari BPOM dan WHO akan diubah menjadi persyaratan keamanan (*safety*). Dari diagram aktivitas yang dibuat, dapat diperoleh persyaratan tambahan dan translasi skrip NuSMV yang berkorespondensi dengan diagram aktivitas.

Seluruh persyaratan yang telah dibuat akan diubah menjadi spesifikasi formal dalam bahasa Logika Temporal tertentu. Kemudian dari skrip NuSMV akan diverifikasi dengan spesifikasi formal yang telah dibuat. Alur penelitian selama pengerjaan tugas akhir dapat diilustrasikan dalam Gambar 1:



Gambar 1: Metodologi Penelitian dalam pengerjaan Tugas Akhir.

2 Kajian Pustaka

2.1 Metode Formal

Metode formal biasanya digunakan untuk melakukan verifikasi pada perangkat lunak atau perangkat keras. Verifikasi bisa dilakukan pada sistem yang memperhatikan spesifikasi keamanan agar tidak terjadi kesalahan dalam sistem. Verifikasi juga dapat dilakukan pada sistem yang digunakan untuk produksi massal [10].

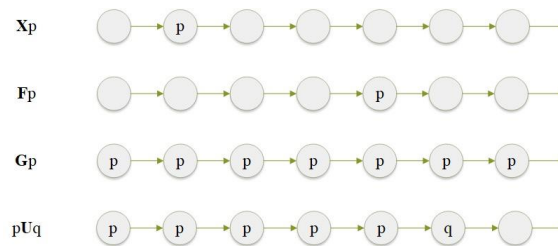
Metode verifikasi yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan *model checking*. Verifikasi dengan *model checking* menggunakan logika temporal. Pada logika temporal, formula tidak selalu bernilai *True* atau *False* seperti pada logika proposisi dan predikat. Logika temporal terdiri dari beberapa kondisi (*state*) dimana formula bisa bernilai *True* pada beberapa *state* dan bernilai *False* pada *state* yang lain. Logika temporal yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Linear-time Temporal Logic* (Logika Temporal Linear/LTL).

2.2 LTL (Logika Temporal Linear)

Logika Temporal Linear, merupakan logika temporal yang dapat digunakan untuk memodelkan suatu sistem secara tak terhingga ke masa depan. Setiap kondisi terjadi berurutan dan berbentuk linear, sehingga membentuk sebuah jalur [10, 11].

2.2.1 Sintaks LTL

Sintaks yang digunakan pada LTL untuk operator logika adalah $\neg, \vee, \wedge, \rightarrow$. Untuk menyatakan nilai kebenaran LTL, menggunakan \top untuk *True* dan \perp untuk *False*. LTL juga memiliki operator tersendiri yang disebut operator temporal yang terdiri dari X, F, G, U, R , dan W . Beberapa referensi menggunakan simbol untuk menyatakan operator temporal, seperti \circ untuk menyatakan X , \diamond untuk menyatakan F , dan \square untuk menyatakan G . Nilai kebenaran dari operator temporal dapat diilustrasikan dalam Gambar 2:



Gambar 2: Ilustrasi operator temporal pada LTL.

2.2.2 Semantik LTL

Model yang ingin kita periksa dapat dibuat dalam bentuk sistem transisi atau yang biasa disebut model atau struktur Kripke. Struktur Kripke terdiri dari *state* dan transisi. *State* menunjukkan kondisi sistem pada saat itu dan proposisi atom apa saja yang berlaku. Transisi menunjukkan hubungan antar *state* jadi kita dapat melihat suatu *state* dapat ke *state* mana saja [10]. Struktur Kripke dapat dinyatakan dalam model $M = (S, \rightarrow, L)$, dengan S adalah himpunan kondisi, \rightarrow adalah relasi antar kondisi, dan L adalah pelabelan proposisi atom ke himpunan kondisi. Dari struktur Kripke, dapat dibuat lintasan dari perpindahan antar *state*. Suatu lintasan dinotasikan dalam π dan panjang lintasan dapat mencapai tak terhingga.

2.3 PLTL (Logika Temporal Linear-Lampau)

Operator temporal yang digunakan pada LTL digunakan untuk menunjukkan *state* yang terjadi setelah suatu *state*. Namun operator temporal juga memiliki operator yang dapat menunjukkan *state* yang terjadi sebelum suatu *state*. Operator temporal tersebut digunakan pada PLTL (Logika Temporal Linear-Lampau). PLTL memiliki banyak jenis operator temporal, namun pada tugas akhir ini penulis hanya menggunakan satu operator temporal PLTL, yaitu operator temporal O. Operator temporal tersebut digunakan untuk melihat *state* yang terjadi sebelum sebelum suatu *state*. Saat menggunakan operator temporal PLTL, formula harus memiliki operator temporal LTL. Hal itu karena operator temporal PLTL tidak dapat menyatakan dengan sendirinya tanpa operator temporal LTL dalam suatu formula.

2.4 Model Checker NuSMV

NuSMV merupakan pengembangan dari SMV, *model checker* pertama yang berbasis *Binary Decision Diagram* (BDD) [12]. NuSMV telah didesain agar dapat digunakan untuk berbagai macam area riset, salah satunya untuk verifikasi formula logika. Namun diperlukan beberapa penyesuaian agar formula logika dapat diverifikasi di NuSMV. Penyesuaian tersebut adalah mentranslasi operator logika dalam NuSMV karena simbol yang digunakan pada operator logika tidak dapat dikenali oleh NuSMV.

2.5 Diagram Aktivitas

Diagram aktivitas digunakan untuk memodelkan aspek yang dinamis dalam suatu sistem termasuk pada proses komputasi. Diagram aktivitas juga digunakan untuk memodelkan alur perpindahan objek dari antar kondisi yang berbeda. Diagram aktivitas dapat memvisualisasikan, memerinci, membangun dan mendokumentasikan aspek dinamis dari sistem [13].

2.6 Aturan Translasi dari Diagram Aktivitas ke NuSMV

Untuk melakukan verifikasi, diagram aktivitas harus diubah dalam model formal dan hal tersebut sangat sulit untuk dilakukan. Namun terdapat penelitian yang berhasil mentranslasi diagram aktivitas ke SMV [14]. Berdasarkan penelitian tersebut, terdapat sembilan aturan dalam proses translasi diagram aktivitas ke NuSMV. Aturan-aturan tersebut terdiri dari penentuan variabel, pemberian nilai awal variabel, penentuan transisi tiap *node*, penentuan jalur menuju *final node*, dan pemetaan nama *action*. Setiap translasi harus sesuai dengan aturan. Jika terdapat kesalahan dalam translasi dapat menyebabkan spesifikasi bernilai *False*.

3 Konstruksi Model Formal

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai tahapan-tahapan selama konstruksi model formal yaitu pengumpulan data dan spesifikasi informal, konstruksi diagram aktivitas dari alur distribusi vaksin, translasi diagram Aktivitas ke NuSMV, dan translasi spesifikasi informal ke logika temporal.

3.1 Data dan Spesifikasi Informal

3.1.1 Data yang Didapatkan dari PT. Bio Farma

Berdasarkan hasil pencarian data ke PT. Bio Farma, diketahui bahwa alur distribusi vaksin di Indonesia menerapkan Sistem Rantai Dingin (*Cold Chain System*). Selama proses distribusi, vaksin melewati beberapa pos penyimpanan sementara sebelum digunakan oleh konsumen. PT. Bio Farma menjelaskan bahwa alur distribusi vaksin terbagi dalam empat pos penyimpanan. Berikut pos penyimpanan selama distribusi vaksin dilakukan :

1. Pos penyimpanan pertama vaksin berada di PT. Bio Farma sekaligus tempat pembuatan vaksin.
2. Pos penyimpanan kedua berada di Dinas Kesehatan Provinsi.
3. Pos penyimpanan ketiga berada di Dinas Kesehatan Kabupaten.
4. Pos penyimpanan keempat berada di Puskesmas. Pos ini merupakan pos penyimpanan terakhir sebelum vaksin digunakan oleh konsumen.

PT. Bio Farma tidak dapat memberikan informasi lebih detail dari alur distribusi vaksin karena informasi tersebut tidak dapat diberikan kepada masyarakat umum. Namun PT. Bio Farma menerapkan aturan distribusi sesuai dengan pedoman distribusi (*Good Distribution Practise / GDP*) yang telah dikeluarkan oleh BPOM dan WHO [4, 5].

3.1.2 Data yang Didapatkan dari BPOM dan WHO

Pada GDP yang telah dikeluarkan oleh BPOM, diperoleh alur yang terjadi selama vaksin berada di pos penyimpanan. Secara umum alur yang terjadi pada tiap pos penyimpanan hampir sama yaitu penerimaan vaksin dari pos sebelumnya, pemeriksaan vaksin secara berkala, dan pengiriman vaksin ke pos berikutnya. Akan tetapi, ada perbedaan pada saat vaksin berada di pos pertama dan terakhir. Pada pos pertama tidak ada proses penerimaan vaksin dari pos sebelumnya. Pada pos terakhir proses pengiriman vaksin ke pos berikutnya diganti menjadi proses imunisasi.

3.1.3 Persyaratan

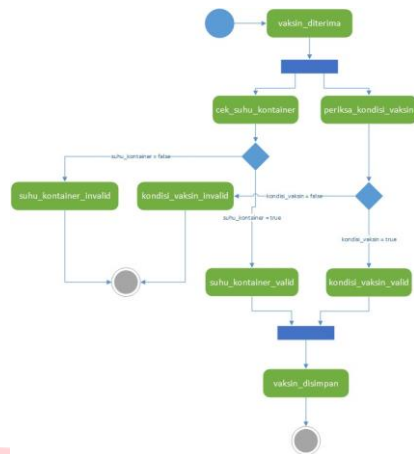
Data yang diperoleh dari BPOM dan WHO akan digunakan sebagai persyaratan keamanan dan keterjangkauan dari alur distribusi vaksin. Persyaratan tersebut dipilih dan diubah agar dapat ditranslasi ke LTL. Proses pemilihan persyaratan dilakukan dengan melihat persyaratan dapat ditranslasi ke LTL. Hal itu dikarenakan terdapat beberapa persyaratan yang tidak dapat ditranslasi. Berikut beberapa persyaratan dari BPOM dan WHO yang telah dipilih:

1. Selama penyimpanan, akan diperiksa suhu ruang penyimpanan dan VVM vaksin.
2. Jika VVM vaksin atau suhu ruang penyimpanan tidak valid maka petugas vaksin akan menghubungi supervisor.
3. Jika VVM vaksin dan suhu ruang penyimpanan valid maka petugas akan mengecek jadwal pengiriman vaksin.

3.2 Diagram Aktivitas untuk Alur Distribusi Vaksin

Berdasarkan deskripsi alur distribusi vaksin yang didapat dari PT. Bio Farma, BPOM, dan WHO, terdapat tujuh diagram aktivitas diagram pada alur distribusi vaksin. Berikut beberapa diagram aktivitas untuk alur distribusi vaksin di Indonesia;

3.2.1 Diagram Aktivitas untuk Alur Penerimaan Vaksin



Gambar 3: Diagram Aktivitas untuk alur penerimaan vaksin.

3.2.2 Diagram Aktivitas untuk Alur Penyimpanan di PT. Bio Farma



Gambar 4: Diagram Aktivitas untuk alur penyimpanan di PT. Bio Farma.

3.3 Translasi dari Diagram Aktivitas ke NuSMV

Pada bagian ini akan menjelaskan translasi dari diagram aktivitas yang telah dibuat pada Bab 3.

3.3.1 Kode NuSMV untuk Alur Penyimpanan di PT. Bio Farma

Diagram aktivitas yang telah dibuat ditranslasi sesuai dengan aturan pada Bab 2. Salah satu contoh dari hasil translasi adalah pada penentuan variabel. Diagram aktivitas harus diberi penomoran agar mempermudah penentuan variabel. Penomoran dilakukan pada *initial node*, *final node*, dan *action*. Berikut hasil penomoran node pada diagram aktivitas untuk pos penyimpanan di PT. Bio Farma:



Gambar 5: Penomoran diagram aktivitas untuk pos penyimpanan di PT. Bio Farma.

Selanjutnya adalah menentukan variabel berdasarkan pada Gambar 5. Variabel yang akan dibuat adalah variabel control flow, acnode, node, local dan control. Variabel control flow untuk initial node terdapat satu node, untuk final node terdapat dua node, untuk action terdapat enam node. Untuk variabel input, terdapat dua guard yaitu vaksin dan kirim. Berikut hasil translasi ke NuSMV untuk penentuan variabel:

Algorithm 1 Variabel untuk pos penyimpanan di PT. Bio Farma

```

1: MODULE main
2: VAR
3: --nodes and pseudo-nodes of ADs (control flow)
4: in_n0_initial : boolean;
5: in_n7_final : boolean;
6: in_n8_final : boolean;
7: in_n1 : boolean;
8: in_n2 : boolean;
9: in_n3 : boolean;
10: in_n4 : boolean;
11: in_n5 : boolean;
12: in_n6 : boolean;
13: -- visible nodes (acnode)
14: acnode : {n0_initial, n7_final, n1, n2, n3, n4, n5, n6, nop};
15: -- the visible action of step (ac)
16: ac : {pemeriksaan_vaksin, cek_jadwal_pengiriman, hubungi_supervisor,
cek_prioritas_pengiriman, pengemasan_vaksin, pengiriman_vaksin, nop};
17: -- input variables
18: vaksin : {true, false};
19: kirim : {true, false};

```

3.4 Translasi Persyaratan ke Logika Temporal

Persyaratan yang telah dibuat ditranslasikan menjadi spesifikasi formal dalam LTL. Spesifikasi formal berbedabeda sesuai dengan diagram aktivitas dari alur distribusi vaksin.

3.4.1 Formula Logika Temporal pada PT. Bio Farma

Terdapat persyaratan fungsional tambahan yang didapat dari diagram aktivitas pada Bab 3. Berikut adalah spesifikasi formula dari persyaratan fungsional tambahan:

- Suatu saat petugas akan menghubungi supervisor atau suatu saat vaksin akan dikirim tapi tidak keduanya bersamaan.

$$F(ac = \text{hubungi supervisor}) \oplus F(ac = \text{pengiriman vaksin})$$

Berikut adalah beberapa spesifikasi formal yang dibuat untuk diagram aktivitas alur penyimpanan di PT. Bio Farma berdasarkan persyaratan yang telah dibuat pada Bab 3:

- Berdasarkan persyaratan R19, R22, dan R23, didapatkan spesifikasi formal:
Dalam kondisi apapun jika saat vaksin diperiksa dan vaksin tidak valid maka suatu saat akan menghubungi supervisor.

$$G(ac = \text{pemeriksaan vaksin} \wedge \text{vaksin valid} = \text{false} \rightarrow F(ac = \text{hubungi supervisor}))$$

- Berdasarkan persyaratan R19, R22, dan R23, didapatkan spesifikasi formal:
Dalam kondisi apapun jika saat vaksin diperiksa dan vaksin valid maka suatu saat jadwal pengiriman vaksin akan dicek.

$$G(ac = \text{pemeriksaan vaksin} \wedge \text{vaksin valid} = \text{true} \rightarrow F(ac = \text{cek jadwal pengiriman}))$$

4 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang didapat dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan:

1. Deskripsi alur distribusi vaksin di Indonesia yang diberikan oleh PT. Bio Farma memenuhi persyaratan keamanan yang ditentukan oleh BPOM dan WHO.

2. Deskripsi alur distribusi vaksin di Indonesia yang diberikan oleh PT. Bio Farma tidak cukup rinci untuk memenuhi persyaratan fungsional tambahan, yaitu persyaratan fungsional tambahan pada alur penyimpanan di PT. Bio Farma, Dinas Kesehatan, dan Puskesmas. Ini berarti terdapat kondisi pada alur penyimpanan di PT. Bio Farma, Dinas Kesehatan, dan Puskesmas yang menyebabkan vaksin tidak dikirim atau petugas vaksin menghubungi supervisor.
3. Berdasarkan hasil verifikasi, metode formal dapat melakukan verifikasi pada alur distribusi dan dapat menemukan kesalahan pada model yang telah dibuat.

5 Saran

Berikut adalah saran-saran yang dapat disampaikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Berdasarkan hasil verifikasi, diagram aktivitas belum dapat merepresentasikan secara rinci alur distribusi vaksin. Oleh karena itu, peneliti selanjutnya dapat menggunakan model lain yang lebih detail dan bervariasi, seperti dapat menangani masalah waktu.
2. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan bahasa formal lain agar spesifikasi formal yang akan diverifikasi dapat lebih detail.

Pustaka

- [1] BBC, "Vaksin palsu, apa dampaknya terhadap anak?" http://www.bbc.com/indonesia/majalah/2016/07/160719_trensosial_vaksinpalsu, online : accessed 19-October-2016.
- [2] M. TV, "Alur vaksin palsu sampai ke konsumen," <http://news.metrotvnews.com/hukum/GKdXe7mK-alurvaksin-palsu-sampai-ke-konsumen>, accessed : 19-October-2016.
- [3] "Bagaimana vaksin sampai pada konsumen," <http://www.biofarma.co.id/en/our-company/how-vaccinesreach-the-consumers/>, online: accessed 19-October-2016.
- [4] *Pedoman Teknis Cara Distribusi Obat yang Baik*, Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia, 2012.
- [5] *The Vaccine Cold Chain*, World Health Organization, 2015.
- [6] N. Hazzazi, B. Yu, D. Wijesekera, and P. Costa, "Using temporal logic to verify blood supply chain safety," *Computer Science Review*, 2015.
- [7] L. Petre, E. Troubitsyna, M. Walden, P. Boström, N. Engblom, and M. Jansson, "A methodology for integration of formal methods in a healthcare case study," TUCS Technical Reports, Tech. Rep., 2001.
- [8] D. Mery and N. K. Singh, "Medical protocol diagnosis using formal methods," in *International Symposium on Foundations of Health Informatics Engineering and Systems*. Springer, 2011, pp. 1–20.
- [9] D. K. Huda, "Model formal dan verifikasi sistem layanan presensi rfid dengan logika temporal: Studi kasus di universitas telkom, indonesia," Bachelor Thesis, Universitas Telkom, Aug. 2017.
- [10] M. Huth and M. Ryan, *Logic in Computer Science: Modelling and reasoning about systems*. Cambridge University Press, 2004.
- [11] K. Y. Rozier, "Linear temporal logic symbolic model checking," *Computer Science Review*, vol. 5, no. 2, pp. 163–203, 2011.
- [12] A. Cimatti, E. Clarke, E. Giunchiglia, F. Giunchiglia, M. Pistore, M. Roveri, R. Sebastiani, and A. Tacchella, "Nusmv 2: An opensource tool for symbolic model checking," in *International Conference on Computer Aided Verification*. Springer, 2002, pp. 359–364.
- [13] G. Booch, *The unified modeling language user guide*. Pearson Education India, 2005.
- [14] S. Maoz, J. O. Ringert, and B. Rumpe, "An operational semantics for activity diagrams using smv," *arXiv preprint arXiv:1409.2356*, 2014.

- [15] B. Farma, "Definisi vaksin," <http://infoimunisasi.com/vaksin/definisi-vaksin/>, Feb. 2012, online: accessed 19-October-2016.
- [16] "Formal method in software engineering lab," <http://www.cs.ui.ac.id/id/formal-methods-in-softwareengineering-lab/>, accessed: 19-October-2016.
- [17] *Business Process Model and Notation (BPMN)*, 2nd ed., Object Management Group, Dec. 2013.
- [18]
- [19] H. S. Levinson, S. Zimmerman, J. Clinger, J. Gast, S. Rutherford, and E. Bruhn, *Bus rapid transit. Volume 2: Implementation guidelines*, 2003, no. Project A-23 FY'99.
- [20] F. U. Muram, H. Tran, and U. Zdun, "Automated mapping of uml activity diagrams to formal specifications for supporting containment checking," *arXiv preprint arXiv:1404.0852*, 2014.
- [21] C. Baier, J.-P. Katoen, and K. G. Larsen, *Principles of model checking*. MIT press, 2008.