

## ABSTRAK

# MODEL *REQUIREMENTS ENGINEERING* UNTUK PENGEMBANGAN *SELF-ADAPTIVE SYSTEMS* DALAM MENANGANI KETIDAKPASTIAN KEBUTUHAN KONTEKSTUAL

Oleh

Aradea

NIM: 33214003

(Program Studi Doktor Teknik Elektro dan Informatika)

Kompleksitas lingkungan sistem telah menumbuhkan tantangan tersendiri bagi para pengembang perangkat lunak. Perubahan dapat terjadi secara cepat, tidak terduga, dan berkesinambungan, sehingga suatu sistem perangkat lunak dituntut memiliki kemampuan untuk dapat memahami dan bertindak atas apa yang terjadi di dalam sistem itu sendiri maupun lingkungannya. *Self-adaptive systems* telah muncul sebagai jawaban atas tantangan tersebut, namun persoalan ketidakpastian masih menjadi pusat perhatian para peneliti sampai dengan saat ini. Deskripsi *requirements* yang dirancang saat desain bisa menjadi tidak berlaku pada saat *run-time* ketika terjadi keadaan yang tidak diprediksi sebelumnya. Aktivitas *requirements engineering* tidak hanya cukup menangkap pengetahuan sesuai dengan kondisi saat ini, namun pengetahuan yang berhubungan dengan kebutuhan sistem kedepan merupakan kebutuhan yang harus dipenuhi. Dengan kata lain, *requirements engineering* harus dapat menjembatani dan menyelaraskan kebutuhan pada saat desain dan *run-time*. Selain itu, faktor penting lainnya adalah pemenuhan preferensi pengguna yang dapat dianggap sebagai bagian dari kemampuan adaptasi sistem secara keseluruhan.

Persoalan utama dari ketidakpastian dalam *self-adaptive systems* disebabkan oleh efek dari variabilitas kontekstual, karena kebutuhan kontekstual mengandung ketidakpastian saat *run-time* dan sebagai salah satu fitur evolusi yang tidak terduga. Saat ini telah dilakukan berbagai upaya untuk merealisasikan kebutuhan adaptasi dalam *self-adaptive systems*, bahkan sudah terdapat banyak karya yang sudah cukup matang. Namun, pendekatan untuk menangani ketidakpastian berdasarkan kebutuhan kontekstual masih kurang mendapatkan perhatian, terutama di dalam pendekatan *goal-oriented requirements engineering*, yaitu untuk menangkap dan menangani seperangkat asumsi lingkungan yang menyebabkan pengetahuan menjadi tidak lengkap atau tidak konsisten. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan realitas ketidakpastian kontekstual yang terkandung di dalamnya, tujuannya adalah memanfaatkan pengetahuan yang terbatas tentang domain dan menumbuhkannya melalui perubahan atau pengetahuan baru yang muncul pada saat *run-time*. Pada dasarnya model yang dikembangkan harus dapat beradaptasi secara mudah dan fleksibel dengan berbagai tingkat pengetahuannya.

Disertasi ini memperkenalkan model *requirements engineering* untuk *self-adaptive systems* dengan empat kontribusi utama. Pertama, memperkenalkan elemen-elemen penting di dalam bahasa pemodelan *requirements* yang dapat digunakan perancang perangkat lunak untuk mendefinisikan kebutuhan adaptasi dalam sistem adaptif. Kedua, pendekatan untuk memodelkan kebutuhan adaptasi melalui bahasa pemodelan *requirements* yang diperluas dengan pola *control loop* dan hieraki pewarisan konteks, sehingga bahasa pemodelan

mengandung pola adaptasi dan mampu menangkap kebutuhan kontekstual, serta memungkinkan pemetaannya terhadap komponen perangkat lunak secara eksplisit. Ketiga, pemetaan bahasa pemodelan *requirements* kedalam *dynamic bayesian network* untuk menentukan perilaku adaptasi terkait dengan ketidakpastian kebutuhan kontekstual saat *run-time* dengan mengakomodasi preferensi pengguna. Ke empat, metamodel untuk mendefinisikan pengetahuan kebutuhan adaptasi. Model dikembangkan melalui pendekatan *goal-oriented requirements engineering* yang diintegrasikan kedalam *dynamic bayesian networks* dengan memanfaatkan teori keputusan dan utilitas.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa model telah mampu mengatur perilaku sistem dalam merespon perubahan, baik yang disebabkan oleh pengetahuan yang tidak lengkap, asumsi yang salah dari kebutuhan kontekstual, maupun faktor lainnya yang berhubungan dengan ketidakpastian, termasuk dukungannya untuk *requirements* baru. Berdasarkan perbandingan dengan pekerjaan terkait, karya ini memberikan dukungan yang cukup baik dalam hal desain *self-adaptive systems* dengan tingkatan *architecture adaptability index (AAI)* = 0.80, serta mampu merespon persoalan variabilitas domain dan *evolusi requirements* pada saat *run-time*. Selain itu, hasil evaluasi metamodel menunjukkan tingkat konsistensi 100% terkait struktur, bahasa, dan sintaks dari pengetahuan *requirements* yang terbentuk melalui 6 *class* utama, 10 *subclass*, 18 *object properties*, 12 *data properties*, serta 45 *instances* (untuk kasus *cleaner robot*) dengan nilai rata-rata *cohesion* 0.279 dan *coupling* 0.013.

Kata kunci: *self-adaptive systems*, *requirements engineering*, model *goal*, *control loops*, kebutuhan kontekstual, ketidakpastian, *dynamic bayesian network*.

## **ABSTRACT**

### **REQUIREMENTS ENGINEERING MODEL FOR SELF-ADAPTIVE SYSTEMS DEVELOPMENT IN HANDLING UNCERTAINTY OF CONTEXTUAL REQUIREMENTS**

By

**Aradea**

**NIM: 33214003**

**(Doctoral Program in Electrical Engineering and Informatics)**

*The environmental complexity of a system has created a challenge for software developers. Changes can happen quickly, unexpectedly and continuously. So, software systems is required to have the ability to understand and act on what is happening within the system itself and the environment. Self-adaptive systems are the solution to these challenges, but the issue of uncertainty is still the main concern of today's researchers. Descriptions of requirements prepared during design-time may not be applicable at run-time in the event of unforeseen circumstances, so that the requirements engineering activity does not adequately capture the knowledge and construct it in accordance with systems-as-is. However, knowledge for systems-to-be is a requirement that must be met. In other words, requirements engineering should be able to bridge and align requirements at the design-time and run-time. In addition, another important factor is the fulfillment of user preferences that can be considered as part of the overall system adaptability.*

*The main problem of uncertainty in self-adaptive systems is related to the effects of contextual variability, because contextual requirements are runtime uncertainties and features of unforeseen evolution. Various efforts have been made to realize adaptation requirements in self-adaptive systems. However, the approach to handling uncertainty based on contextual requirements is poorly considered, especially in the approaches of goal-oriented requirements engineering to capture and handle a set of environmental assumptions that lead to incomplete or inconsistent knowledge. Therefore, modeling is required where the reality of contextual uncertainty becomes contained, the goal being to utilize limited knowledge of the domain and to grow it through changes or knowledge arising at the run-time. Basically the model should be able to adapt easily and flexibly with different levels of knowledge.*

*This dissertation introduces the requirements engineering model for self-adaptive systems with four contributions. First, it introduces essential elements in requirements modeling languages that can be used by software designers to define adaptation requirements for self-adaptive systems. Second, it introduces an approach to adaptation requirements modeling through expanded requirements modeling languages with control loops patterns and context inheritance hierarchies, so that modeling languages contain adaptation patterns and represent contextual requirements, and allow them to be mapped to software components explicitly. Third, it introduces a mapping of requirements modeling languages into a dynamic bayesian network to determine adaptation behaviors that relate to the contextual requirements uncertainty at run-time and accommodate user preferences. Fourth, metamodel for adaptation requirements knowled. The model is developed through an expanded goal-oriented*

*requirements engineering approach that is integrated into Dynamic Bayesian Networks by utilizing a combination of decision theory and utility theory.*

*Experiment results show that the model has been able to control system behavior in response to changes caused by incomplete knowledge, false assumptions of contextual requirements, as well as other factors related to run-time uncertainty, including support for new requirements. Based on comparisons with related work, this work provides support in the design of self-adaptive systems with a level of architecture adaptability index (AAI) = 0.80, and able to respond to domain variability and requirements evolution at run-time. In addition, the evaluation results of the metamodel show 100% consistency level related to the structure, language, and syntax of requirements knowledge that is formed through 6 main classes, 10 subclasses, 18 object properties, 12 data properties, and 45 instances (for cleaner robot cases) with values average cohesion 0.279 and coupling 0.013.*

*Keywords: self-adaptive systems, requirements engineering, goal model, control loops, contextual requirements, uncertainty, dynamic bayesian network.*