PENGEMBANGAN SISTEM AUTO GRADING MENGGUNAKAN PC PENGGUNA SEBAGAI WORKER

Laporan Tugas Akhir

Disusun sebagai syarat kelulusan tingkat sarjana

Oleh JAUHAR ARIFIN

NIM: 13515049

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA

SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

19 Mei 2019

PENGEMBANGAN SISTEM AUTO GRADING MENGGUNAKAN PC PENGGUNA SEBAGAI WORKER

Laporan Tugas Akhir

Oleh JAUHAR ARIFIN

NIM: 13515049

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

Bandung, 26 Desember 2018

Mengetahui,

Pembimbing,

Riza Satria Perdana, ST., MT.

NIP. 197006091995121002

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM AUTO GRADING MENGGUNAKAN PC PENGGUNA SEBAGAI WORKER

Oleh JAUHAR ARIFIN

NIM: 13515049

Competitive programming merupakan kompetisi di bidang *computer science* dimana peserta berlomba menyelesaikan persoalan dengan membuat program sesuai batasan yang ditentukan. Dalam menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*, juri menggunakan *autograder* untuk melakukan penilaian. *Autograder* dijalankan pada komputer tertentu yang disebut *worker*. Untuk menjaga kinerja penilaian, diperlukan *worker* dalam jumlah yang besar sehingga diperlukan biaya yang besar pula.

Komputer peserta umumnya memiliki kemampuan yang cukup untuk melakukan penilaian jawaban. Pada tugas akhir ini, komputer peserta digunakan sebagai *worker*. Dengan menggunakan komputer peserta sebagai *worker*, kinerja penilaian dapat meningkat. Setiap peserta memiliki komputer dengan spesifikasi yang berbeda. Untuk menjaga keadilan, solusi peserta dan solusi juri akan dieksekusi pada *worker* dan dibandingkan hasilnya. Kerahasiaan penilaian dijaga dengan melakukan enkripsi pada tingkat aplikasi.

Pengujian tugas akhir ini dilakukan dengan menyimulasikan penilaian jawaban peserta oleh *autograder*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja penilaian sistem yang dibangun dengan sistem *online judge* yang bersifat *open source* yaitu *DOMJudge*. Hasil pengujian menyatakan penilaian jawaban dengan memanfaatkan komputer peserta sebagai *worker* meningkatkan kinerja penilaian.

Kata kunci: *competitive programming*, *autograder*, *online judge*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul ”Pengembangan Sistem Auto Grading Menggunakan PC Pengguna Sebagai Worker”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu pengerjaan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis berikan kepada:

1. Dosem pembimbing Bapak Riza Satria Perdana, yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengerjakan tugas akhir serta memberikan inspirasi dan pembelajaran yang sangat berarti.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Arfinda Ilmania dan seluruh teman-teman Informatika 2015 yang telah memberikan masukan dan dukungan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
4. Bapak dan ibu dosen informatika yang telah memberikan pembelajaran dan pengalaman yang tak ternilai selama empat tahun masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidaklah sempurna. Untuk itu penulis ingin meminta maaf dan menerima kritik dan saran yang membangun dan dapat disampaikan melalui alamat email penulis yaitu: jauhararifin10@gmail.com.

Jauhar Arifin

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Competitive programming merupakan salah satu cabang lomba yang cukup populer di bidang *computer science*. Pada kompetisi *competitive programming*, peserta diminta menyelesaikan persoalan terkait *computer science* yang diberikan oleh juri secara benar dan dalam waktu yang singkat. Beberapa instansi dan organisasi seringkali mengadakan kompetisi ini secara rutin. Perusahaan teknologi besar seperti Google dan Facebook pun seringkali mengadakan kompetisi *competitive programming* secara tahunan. Kompetisi *competitive programming* ditunjang dengan menggunakan sistem *online judge*. Sistem *online judge* tersebut biasanya berupa halaman *web* dimana peserta dapat melihat soal, membuat klarifikasi, mengirimkan jawaban dan melihat *scoreboard*. Sistem *online judge* yang populer pada saat ini adalah Codeforces, URI *Online Judge* (Bez, Tonin, & Rodegheri, 2014), Uva, dan SPOJ.

Di dalam sistem *online judge*, terdapat sistem *autograder* yang digunakan untuk menilai jawaban peserta. Jawaban peserta yang berupa *source code* dalam bahasa pemrograman tertentu akan dinilai kebenarannya oleh sistem *autograder* dengan cara melakukan kompilasi pada kode tersebut kemudian mengeksekusi program hasil kompilasi dengan *test-case* yang sudah disiapkan oleh juri atau pembuat soal. Menurut Fernando & Liem, 2014, cara tersebut disebut sebagai *black-box grading*. Dengan menggunakan *autograder*, penilaian jawaban peserta dapat dilakukan secara otomatis dan keterlibatan manusia menjadi lebih sedikit. Untuk meningkatkan jumlah jawaban peserta yang dapat dinilai dalam satuan waktu, biasanya juri menyiapkan lebih dari satu komputer yang menjalankan sistem *autograder*. Untuk menjalankan *autograder* pada lebih dari satu komputer, diperlukan komputer dengan spesifikasi yang sama untuk menjaga keadilan penilaian.

Saat ini, hampir semua kompetisi *competitive programming* menggunakan sistem *au-*

tograder. Kebanyakan dari kompetisi tersebut juga telah menggunakan lebih dari satu *autograder* untuk meningkatkan kinerja penilaian. Meskipun begitu, karena banyaknya peserta yang mengikuti kompetisi tersebut, seringkali jumlah *autograder* yang disiapkan oleh juri kurang dan mengakibatkan jawaban peserta tidak dapat dinilai secara cepat. Penggunaan sistem *autograder* yang banyak juga menghabiskan banyak biaya karena perlu menyewa komputer dengan kinerja yang cukup tinggi untuk menjalankan sistem *autograder* tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sistem penilaian baru yang dapat mengurangi biaya pengadaan infrastruktur guna menjalankan sistem *autograder*.

Dalam mengikuti kompetisi *competitive programming*, peserta umumnya menggunakan komputer pribadinya untuk menulis program yang digunakan untuk menyelesaikan soal yang diberikan. Setiap komputer yang digunakan oleh peserta umumnya memiliki spesifikasi yang cukup untuk melakukan kompilasi pada *source code* yang ditulis oleh peserta dan melakukan eksekusi program hasil kompilasi tersebut. Oleh sebab itu, komputer peserta berpotensi untuk menjadi infrastruktur yang dapat digunakan untuk melakukan penilaian program oleh *autograder*.

I.2 Rumusan Masalah

Masalah yang diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Sistem *autograder* yang sering digunakan saat ini melakukan penilaian terhadap kode peserta dengan melakukan kompilasi dan eksekusi pada komputer yang disediakan oleh juri. Komputer yang digunakan oleh peserta kompetisi *competitive programming* memiliki kemampuan untuk menjalankan sistem *autograder*. Bagaimana memanfaatkan komputer peserta tersebut untuk menjalankan sistem *autograder* untuk menilai jawaban peserta saat kompetisi sedang berlangsung.
2. Dalam menjalankan sistem *autograder*, aspek keamanan, keadilan dan kinerja perlu diperhatikan. Bagaimana menjaga keamanan, keadilan dan kinerja dari sistem *autograder* yang berjalan pada komputer peserta.

I.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah meningkatkan kinerja penilaian jawaban peserta pada kompetisi *competitive programming* dengan menciptakan sistem *autograder* yang dapat berjalan pada komputer peserta.

I.4 Batasan Masalah

Pada pengerjaan tugas akhir ini, diasumsikan seluruh peserta yang menggunakan perangkat lunak ini memiliki komputer dengan spesifikasi yang cukup untuk menjalankan sistem *autograder* dan memiliki sistem operasi berbasis Linux. Perangkat lunak yang dibangun untuk menjalankan sistem *autograder* hanya mencakup sistem *autograder* untuk domain *competitive programming* saja. Selain itu, peserta diasumsikan tidak melakukan serangan yang berbentuk *reverse engineering*.

I.5 Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menganalisis dan mendesain sistem *autograder*
   Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap teknik pembuatan sistem *autograder* beserta aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan pengembangan sistem *autograder*. Selain itu, pada tahap ini juga dihasilkan metode yang akan digunakan untuk mengembangkan sistem *autograder* yang dapat berjalan pada komputer peserta.
2. Desain dan analisis perangkat lunak
   Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan perangkat lunak beserta membuat desain perangkat lunak yang akan diimplementasikan.
3. Implementasi pengembangan perangkat punak
   Pada tahap ini, implementasi dari pengembangan perangkat lunak dilakukan berdasarkan desain yang sudah dibuat pada tahap sebelumnya.
4. Pengujian
   Perangkat lunak yang telah dihasilkan diuji pada tahap ini sesuai dengan kebutuhan yang telah didefinisikan.
5. Penarikan kesimpulan
   Pada tahap ini, hasil pengujian digunakan untuk melakukan penarikan kesimpulan.

I.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dari Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. BAB I PENDAHULUAN berisi penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, serta sistematika pembahasan tugas akhir.
2. BAB II STUDI LITERATUR berisi hasil studi literatur berupa teori yang melandasai rancangan penyelesaian tugas akhir. Landasan teori terdiri dari kompetisi *competitive programming*, sistem *online judge*, *autograder*, *virtual machine*, *containerization* dan *webassembly*.
3. BAB III ANALISIS MASALAH DAN RANCANGAN SOLUSI berisi persoalan yang muncul ketika menggunakan komputer peserta sebagai *worker* dari *autograder* beserta penyelesaian dari permasalahan tersebut.
4. BAB IV PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN berisi bahasa pemrograman, *tools* dan komponen-komponen yang dibuat dalam mengimplementasikan rancangan solusi pada BAB III.
5. BAB V SIMPULAN DAN SARAN berisi kesimpulan dan saran dari proses dan hasil pengembangan dan pengujian perangkat lunak.

BAB II

STUDI LITERATUR

Pada bab ini dipaparkan hasil studi literatur terkait dengan kompetisi *competitive programming*. Studi literatur yang dilakukan adalah terkait sistem yang digunakan dalam menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*, *online judging system*, *autograder* dan metode yang digunakan dalam melakukan grading.

II.1 *Competitive Programming*

Competitive programming merupakan sebuah kompetisi dimana peserta dari kompetisi tersebut diminta menyelesaikan suatu permasalahan pada bidang *computer science* secara cepat dan tepat. Pada kompetisi *competitive programming*, peserta akan diberikan permasalahan *computer science* yang sudah pernah diselesaikan dan bukan permasalahan riset yang solusinya masih belum ditemukan (S. Halim & F. Halim, 2013). Untuk setiap persoalan yang diberikan, peserta diminta untuk menyelesaikan masalah tersebut dengan membuat program dalam bahasa pemrograman yang diizinkan oleh juri. Program yang dibuat oleh peserta harus memenuhi batasan yang dibuat oleh juri seperti waktu eksekusi, kebutuhan memori, dan ukuran program.

Pada kompetisi *competitive programming*, program yang telah dibuat oleh peserta akan dinilai dengan suatu metode tertentu. Umumnya penilaian yang dilakukan mencakup kebenaran program dan waktu pengumpulan program, akan tetapi terdapat beberapa metode penilaian lain yang dapat dilakukan. Beberapa standar metode telah digunakan untuk melakukan penilaian jawaban dalam kompetisi *competitive programming*, diantaranya adalah standar IOI dan ICPC. Beberapa kompetisi *competitive programming* diselenggarakan oleh suatu organisasi, contohnya adalah ICPC yang diselenggarakan oleh ICPC Foundation (ICPC Foundation, 2018a), dan IOI (International Olympiad in Informatics) yang diselenggarakan oleh IOI Community (IOI Organization, 2017b). Selain itu, terdapat juga kompetisi *competitive programming* yang diselenggarakan

oleh suatu perusahaan seperti Google Code Jam yang diselenggarakan oleh Google dan Facebook HackerCup yang diselenggarakan oleh Facebook.

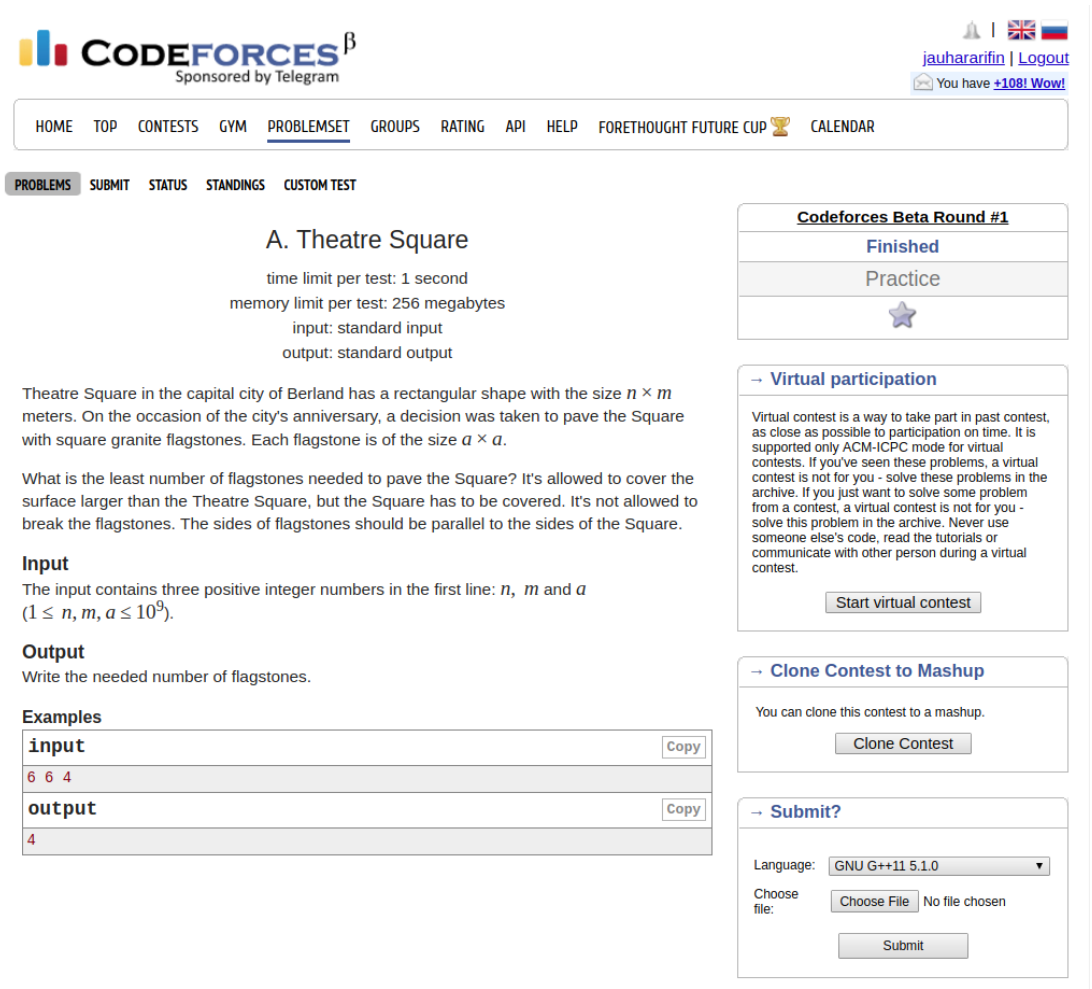
Kompetisi *competitive programming* pada tingkat perguruan tinggi biasanya mengikuti standar ICPC. Beberapa kompetisi yang mengikuti standar ini antara lain adalah Gemastik, Compfest, Vocomfest, INC, dan ACM-ICPC. Pada standar ICPC, setiap peserta akan bekerja dalam sebuah tim yang terdiri dari tiga peserta. Tiap tim akan diberikan soal yang sama. Seluruh tim akan mulai mengerjakan soal secara bersama-sama. Program yang telah dibuat oleh sebuah tim akan dikirimkan ke sistem penilaian untuk dinilai. Penilaian dilakukan secara otomatis oleh sistem yang disebut *online judge*. Pada sistem *online judge*, penilaian dilakukan oleh subsistem yang bernama *autograder* yang berjalan pada sistem tersebut. *Autograder* akan menjalankan program yang dikirimkan oleh peserta dan menentukan apakah program tersebut benar atau salah. Setiap program yang dikirimkan oleh peserta hanya dapat bernilai benar atau salah. Setiap tim yang mengirimkan jawaban salah akan mendapatkan penalti waktu. Nilai total dari sebuah tim dihitung dari jumlah soal yang berhasil dikerjakan oleh tim tersebut. Jika terdapat dua tim yang menyelesaikan soal dengan jumlah yang sama, maka jumlah penalti akan dihitung untuk menentukan tim yang nilainya lebih tinggi (ICPC Foundation, 2018b).

Selain standar ICPC, terdapat standar lain yang biasa digunakan untuk tingkat sekolah menengah atas yaitu standar IOI. Pada standar IOI, setiap peserta bekerja secara individu dan mendapatkan soal yang sama. Berbeda dengan standar ICPC, pada standar IOI setiap soal memiliki beberapa *subtask* dengan nilai tertentu. Peserta dapat menyelesaikan soal secara parsial dan mendapatkan nilai berdasarkan total dari *subtask* yang berhasil diselesaikan dengan benar pada soal tersebut (IOI Organization, 2017a).

Terdapat jenis *competitive programming* lain yang tidak memiliki standar tertentu, misalnya Google Code Jam dan Codeforces. Pada kompetisi Google Code Jam, sistem tidak melakukan penilaian dengan menjalankan program yang dibuat oleh peserta, melainkan hanya meminta jawaban dari peserta dalam bentuk *file* keluaran yang sudah dihasilkan oleh program peserta yang dijalankan di komputer peserta sendiri. Pada kompetisi Codeforces, sistem penilaian memiliki banyak perbedaan dengan sistem penilaian lain. Pada kompetisi ini, setiap soal memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan tingkat kesulitannya dan nilainya akan terus berkurang selama kompetisi berlangsung. Selain itu, pada kompetisi Codeforces peserta dapat melakukan *hack* pada program yang telah dikirimkan peserta lain (Mirzayanov, 2011).

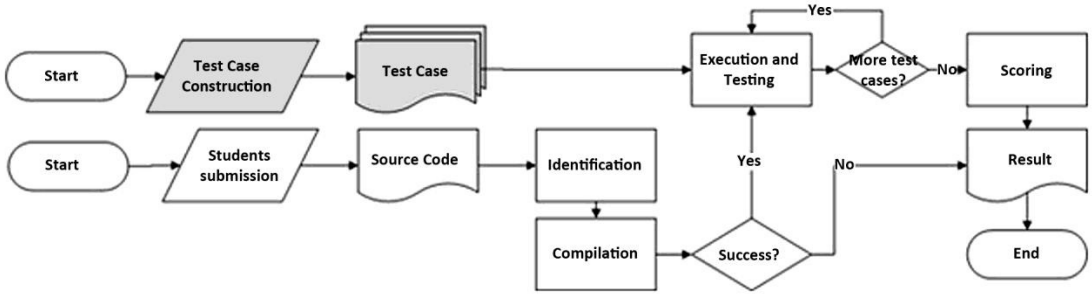
II.2 Sistem *Online Judge*

Online judge merupakan suatu *platform* yang digunakan untuk menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*. Peserta kompetisi menggunakan sistem *online judge* untuk mengakses soal dan mengirimkan jawaban atau program yang telah dibuat. Sistem *online judge* akan melakukan kompilasi pada kode yang dikirimkan peserta lalu mengevaluasi program yang dihasilkan dengan *test-case* tertentu untuk menilai jawaban peserta tersebut (Wasik et al., 2018). Selain itu, sistem *online judge* juga memiliki beberapa fungsi lain diantaranya adalah menampilkan *scoreboard* dan memudahkan peserta melakukan klarifikasi pada soal. Umumnya sistem *online judge* memiliki antar muka berupa halaman *web* yang dapat digunakan oleh peserta untuk membaca soal dan mengirimkan jawaban dari soal tersebut. Gambar II.2.1 memperlihatkan contoh halaman soal dari sistem *online judge* yang cukup populer yaitu Codeforces.



Gambar II.2.1: Contoh Sistem *Online Judge* : Codeforces.

Beberapa organisasi memiliki *online judge* yang secara publik dapat diakses, dianta-



Gambar II.3.1: Proses penilaian program peserta (Danutama & Liem, 2013)

ranya adalah: URI *Online Judge*, TLX, Codeforces, Uva, SPOJ, dan lain sebagainya. *Online judge* yang bersifat publik ini biasanya memiliki beberapa soal-soal yang dapat digunakan untuk latihan dan dapat dikerjakan tanpa harus berkompetisi dengan peserta lain. Pada URI *Online Judge* terdapat fitur tambahan seperti forum dan *rewarding system* (Bez, Tonin, & Rodegheri, 2014). Terdapat beberapa sistem *online judge* yang bersifat *open source* seperti Mooshak, Judgels, dan DomJudge. Sistem *online judge* yang bersifat *open source* biasanya digunakan oleh beberapa instansi seperti perguruan tinggi untuk membuat kompetisi *competitive programming* yang bersifat tertutup seperti Gemastik, Compfest, Vocompfest, Arkavidia, dan INC.

II.3 *Autograder*

Pada *competitive programming*, *autograder* merupakan suatu sistem yang digunakan oleh *online judge* untuk melakukan kompilasi, eksekusi dan menilai *source code* (Danutama & Liem, 2013). *Autograder* digunakan dalam sistem *online judge* untuk menilai kebenaran suatu *source code*. Umumnya *autograder* akan melakukan kompilasi pada *source code* yang dikirimkan oleh peserta pada kompetisi *competitive programming*. Hasil kompilasi dari kode peserta tersebut akan diuji dengan menggunakan *test-case* rahasia yang telah dibuat oleh juri atau *problem setter*. Setelah melalui pengujian, program dinilai kebenarannya berdasarkan hasil pengujian tersebut. Menurut Fernando & Liem, 2014, cara tersebut disebut sebagai *black-box grading*. Gambar II.3.1 menjelaskan alur penilaian sebuah *source code* yang dikirimkan peserta.

Seluruh proses penilaian sebuah *source code* peserta membutuhkan waktu tiga menit jika dilakukan secara manual, sedangkan hanya membutuhkan waktu sepuluh detik dengan menggunakan *autograder* (Danutama & Liem, 2013). Dengan menggunakan *autograder*, peserta kompetisi *competitive programming* dapat menerima *feedback* dengan lebih cepat dan mengurangi pekerjaan yang harus dilakukan oleh juri.

Dalam menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*, juri umumnya menggunakan banyak *autograder* untuk melakukan penilaian jawaban peserta. Dengan menggunakan banyak *autograder*, proses penilaian dapat dilakukan dengan lebih cepat. Untuk menjaga keadilan penilaian, satu buah *autograder* umumnya hanya dapat menilai satu jawaban peserta dalam satu waktu. Jika peserta kompetisi *competitive programming* sangat banyak, maka diperlukan *autograder* yang banyak pula untuk dapat melakukan penilaian jawaban peserta dengan cepat.

Terdapat banyak hal yang harus diperhatikan dalam membangun sistem *online judge* dengan menggunakan *autograder*. Salah satu permasalahan yang harus dihadapi dalam membangun *autograder* adalah masalah keamanan sistem. Sistem *autograder* harus dapat bertahan terhadap serangan yang mungkin dilakukan oleh peserta. Beberapa serangan yang mungkin dilakukan oleh peserta adalah mengirimkan *source code* yang memiliki waktu kompilasi yang sangat lama dan membebani sistem, membuat kode yang dapat mengubah atau merusak lingkungan *autograder*, dan mengakses *resource* dari *autograder* yang tidak diizinkan oleh sistem (Wasik et al., 2018). Metode *sandboxing* dapat dilakukan untuk mengatasi masalah keamanan tersebut. *Sandboxing* merupakan teknik untuk mengisolasi suatu eksekusi program sehingga tidak mengganggu lingkungannya. Metode *sandboxing* yang populer pada saat ini antara lain adalah dengan memanfaatkan teknologi *virtualization* seperti KVM, atau teknologi *container* seperti LXC dan Docker.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam membangun *autograder* adalah aspek keadilan. Waktu eksekusi program perlu diukur dengan tepat untuk menciptakan sistem yang adil. Waktu eksekusi program yang sama dengan input yang sama dapat memiliki nilai yang berbeda bergantung beberapa faktor seperti kecepatan CPU, ukuran RAM, dan lain sebagainya. Waktu pengukuran sebuah eksekusi program dalam sistem *autograder* biasanya dilakukan dalam hitungan milidetik. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur waktu pemrosesan adalah dengan melakukan analisis pada *hardware performance*, *code instrumentation*, atau *code sampling* (Wasik et al., 2018). Umumnya juri menjaga keadilan penilaian dengan menggunakan spesifikasi komputer yang sama untuk menjalankan banyak sistem *autograder*. Komputer dengan spesifikasi yang sama diharapkan dapat menilai jawaban peserta secara adil.

II.4 *Virtual Machine*

Virtual machine merupakan teknik *sandboxing* yang memberikan virtualisasi pada tingkat *hardware*. Dengan menggunakan *virtual machine*, pengguna dapat menggu-

nakan komputernya untuk membuat suatu lingkugan yang terisolasi dan seakan-akan merupakan komputer baru yang terpisah dari komputer pengguna. Hal tersebut dapat dilakukan karena adanya *hypervisor* yang digunakan untuk melakukan virtualisasi *hardware* dari suatu komputer. Dengan menggunakan *virtual machine*, pengguna dapat menjalankan lebih dari satu sistem operasi berbeda di dalam komputer yang sama. Pada sistem operasi yang berbasis Linux, terdapat suatu fitur yang bernama KVM yang memungkinkan Linux menjadi *hypervisor* dan menjalankan *guest OS* di dalam proses Linux (Felter et al., 2015).

Proses (program yang berjalan) di dalam *virtual machine* terisolasi dari proses yang ada di luar-nya. *Resource* seperti memori dan CPU pada proses di *virtual machine* juga dapat dibatasi. Proses di atas *virtual machine* akan dikelola oleh sistem operasi yang berjalan di *virtual machine* tersebut. Dengan menggunakan KVM, pengguna dapat menjalankan program yang arsitekturnya benar-benar berbeda dengan Linux seperti program berarsitektur Windows. Untuk menjalankan suatu program pada lingkungan *virtual machine*, diperlukan adanya sistem operasi yang mengelola keberjalanan program tersebut. Menjalankan sebuah program pada *virtual machine* dapat menjadi sangat berat karena perlu adanya sistem operasi sendiri yang mengakibatkan adanya pekerjaan tambahan untuk *booting*, manajemen memori, manajemen proses, *scheduling*, dan lain sebagainya.

Virtual machine tidak cocok untuk digunakan oleh *autograder* karena terlalu banyak pekerjaan tambahan yang diperlukan dan memberatkan sistem. Untuk mengevaluasi *source code* peserta, tidak perlu menggunakan sistem operasi sendiri yang berbeda dengan sistem operasi yang menjalankan sistem *autograder*. *Virtual machine* lebih cocok digunakan untuk melakukan pengujian program yang membutuhkan berbagai macam jenis sistem operasi. Selain itu, *virtual machine* juga kerap digunakan dalam pembuatan sistem IaaS (*Infrastructure as a service*) seperti Amazon EC2, Digital Ocean Droplet dan Google Cloud Compute Engine.

II.5 *Containerization*

Secara singkat, *container* merupakan teknologi virtualisasi proses pada tingkat sistem operasi. Teknik *containerization* berbeda dengan teknik virtualisasi menggunakan *hypervisor* yang bekerja pada tingkat *hardware* (Merkel, 2014). *Container* bekerja seperti *virtual machine* yang dapat memberikan isolasi terhadap program yang berjalan. Pada *virtual machine*, virtualisasi terjadi pada tingkat *hardware* sehingga pengguna perlu memasang sistem operasi pada lingkungan yang terisolasi untuk dapat menjalan-

kan program. Pada *container*, pengguna tidak perlu memasang sistem operasi karena virtualisasi terjadi pada tingkat *software* sehingga sistem operasi yang berjalan pada komputer pengguna dapat digunakan di dalam *container*. Hal tersebut membuat *container* lebih ringan dibandingkan *virtual machine* karena tidak ada kerja tambahan untuk menjalankan sistem operasi baru.

Pada Linux, teknologi *container* mungkin dilakukan karena adanya beberapa fitur dari Linux yaitu: *chroot*, *cgroup* dan *namespace*. *Chroot* dapat memberikan isolasi *file system* terhadap suatu proses pada Linux. *Cgroup* dapat memberikan batasan *resource* kepada suatu proses di Linux. *Namespace* dapat memberikan isolasi pada proses sehingga proses dalam suatu lingkungan tidak dapat mengetahui adanya proses lain di lingkungan yang berbeda. Terdapat beberapa perangkat lunak yang menawarkan teknologi *containerization* ini, yang populer diantaranya adalah Docker dan LXC. Dengan menggunakan Docker atau LXC, pengguna dapat membuat suatu lingkungan yang tersiolasi untuk menjalankan suatu program tertentu tanpa mengganggu lingkungan di luar-nya. Docker memberikan API yang lebih *high-level* dibandingkan dengan LXC, dan memiliki banyak fitur yang dapat digunakan untuk mengelola *container*. Docker sudah banyak digunakan sebagai *platform* untuk menjalankan dan mendistribusikan aplikasi.

Teknologi *container* ini dapat digunakan untuk melakukan penilaian terhadap kode program yang dikirimkan oleh peserta kompetisi *competitive programming*. Dengan menggunakan *container*, program yang dijalankan dapat diisolasi sehingga tidak membahayakan lingkungan di luar-nya. Selain itu, *resource* seperti CPU, memori, *storage*, dan IO pada *container* dapat dibatasi sehingga tidak mengganggu program lain yang sedang berjalan pada lingkungan di luar *container* (Merkel, 2014).

II.5.1 *Chroot*

Chroot merupakan *system call* pada sistem operasi yang berbasis Linux atau Unix. *System call* ini dapat mengubah *root file system* dari suatu proses ke direktori target tertentu. Program yang dijalankan seakan-akan memiliki direktori *root* sebagai direktori yang ditentukan pada waktu pemanggilan *system call chroot*. Dengan menggunakan cara ini, program yang dijalankan dalam *chroot* hanya dapat mengakses *file system* yang berada pada direktori target saja dan mengurangi kemungkinan serangan yang mungkin dilakukan pada *file system* asli (P., 2003). Dengan menggunakan *chroot*, pengguna dapat mengatur *library* apa saja yang dapat digunakan oleh program yang berjalan dalam lingkungan *chroot*. Hal ini dapat menjadi merepotkan karena pengguna perlu memasukkan semua *library* yang dibutuhkan ke dalam *file system chroot*. Tekno-

logi *container* memanfaatkan *chroot* untuk mengisolasi *file system* yang dapat diakses oleh program yang berjalan pada *container*.

Meskipun *chroot* memberikan penghalang pada aplikasi yang berada dalam lingkungan *chroot* untuk mengakses *file system* yang berada di luar lingkungan direktori target, *chroot* masih memiliki kelemahan. Jika aplikasi yang berjalan pada lingkungan *chroot* memiliki *root permission*, maka aplikasi tersebut dapat dengan mudah keluar dari lingkungan *chroot*. Terdapat beberapa cara untuk meningkatkan keamanan *chroot* sehingga program yang berjalan di dalam *chroot* sulit untuk keluar dari lingkungan tersebut.

Salah satu cara untuk meningkatkan keamanan pada lingkungan *chroot* adalah dengan memasukkan file yang hanya dibutuhkan oleh program saja. Sebagai contoh, jika program membutuhkan daftar *user* yang berada dalam sistem, di dalam linkungan *chroot* perlu ada file /etc/passwd untuk mendapatkan informasi ini. Akan tetapi, file /etc/shadow tidak perlu dimasukkan ke dalam *file system chroot* karena mengandung informasi rahasia yang tidak diperlukan oleh program yang berada dalam lingkungan *chroot*.

Cara kedua untuk meningkatkan keamanan lingkungan *chroot* adalah dengan tidak memberikan akses *root* kepada program yang berjalan di dalam *chroot*. Terdapat beberapa serangan yang memungkinkan program dalam lingkungan *chroot* untuk keluar dari lingkungan *chroot* jika memiliki akses *root*. Untuk menghindari jenis serangan ini, sebaiknya program yang berjalan di dalam lingkungan *chroot* dibuat agar tidak mungkin mendapatkan akses *root*. Tidak memberikan akses *root* kepada program akan mengurangi kemungkinan adanya serangan. Akan tetapi, meskipun tidak memberikan akses *root*, masih terdapat beberapa serangan yang memungkinkan program membangkitkan akses *root* tanpa memiliki akses *root* pada saat dijalankan.

Untuk meningkatkan keamanan pada lingkungan *chroot*, sebaiknya tidak memasukkan *hard link* ke dalam *file system chroot*. *Hard link* yang mengacu pada file di luar lingkungan *chroot* akan mengurangi keamanan *chroot* karena memungkinkan program yang berada di dalam lingkungan *chroot* untuk mengakses file yang berada di luar lingkungan *chroot*.

II.5.2 *Cgroup*

Cgroup merupakan fitur pada Linux yang dapat digunakan untuk membatasi *resource* yang digunakan oleh suatu kelompok program (Felter et al., 2015). *Resource* yang dimaksud di sini adalah *CPU usage*, *memory usage* dan *disk IO*. Dengan menggunakan *cgroup*, sebuah program yang dibatasi *resource*-nya tidak akan mengganggu program

lain dengan cara menghabiskan *resource*. Fitur *cgroup* dimanfaatkan oleh teknologi *container* untuk membatasi *resource* pada sebuah *container* sehingga tidak membebani program lain di luar *container*. Pada *container*, umumnya *cgroup* digunakan untuk membatasi CPU dan memori yang digunakan oleh program-program yang berjalan di dalam *container*. *Cgroup* dapat memberhentikan program di dalam *container* jika telah menggunakan *resource* yang berlebihan. Selain itu, *cgroup* juga dapat digunakan untuk mengukur penggunaan resource oleh suatu proses yang berjalan pada komputer. Hal tersebut dapat digunakan untuk mengukur waktu eksekusi program peserta.

II.5.3 *Namespace*

Dengan menggunakan *chroot* dan *cgroup*, sebuah program dapat diisolasi sehingga memiliki *resource* dan *file system* sendiri yang terpisah dari program-program lain yang berjalan pada sistem operasi *host*. Yang dimaksud sistem operasi *host* disini adalah sistem operasi yang digunakan oleh pengguna tanpa adanya isolasi *container*. Meskipun *resource* dan *file system* dari proses sudah berhasil diisolasi, proses ini masih dapat melihat proses apa saja yang sedang berjalan pada sistem operasi *host* karena program yang berjalan di dalam *chroot* dan *cgroup* masih menggunakan sistem operasi yang sama dan menggunakan *kernel* yang sama. Linux memiliki fitur *namespace* yang memberikan isolasi kepada proses terhadap proses lain pada lingkungan yang berbeda. Dengan menggunakan *namespace*, sebuah proses di suatu *namespace* tertentu dan hanya dapat mengetahui proses lain yang berada di dalam *namespace* yang sama. *Container* memanfaatkan *namespace* sehingga program yang berjalan di dalam *container* hanya mengetahui proses lain yang berada di dalam *container* tersebut dan tidak dapat mengetahui proses pada sistem operasi *host*-nya (Felter et al., 2015).

Selain isolasi program, *namespace* juga memberikan isolasi pada hal lain seperti *network*, *mount*, *cgroup*, *user*, dan lain sebagainya. Dengan memberikan isolasi pada *network*, program yang berada di dalam *container* dapat membuka *port* yang sama seperti program lain yang berada di *container* lain. Dengan menggaunakan isolasi pada *user*, *user* yang ada di dalam *container* tidak dapat diketahui oleh *container* lain.

II.6 WebAssembly

WebAssembly merupakan API *Web* yang memungkinkan *browser* untuk menjalankan *low-level code* secara aman. Dulunya Javascript merupakan satu-satunya bahasa yang didukung secara *native* oleh *web*, akan tetapi semakin berkembangnya teknologi *web*

kebutuhan akan kinerja dari *web* semakin tinggi. Javascript yang merupakan *interpreted language* tidak dapat memberikan kinerja yang tinggi seperti bahasa-bahasa yang dikompilasi menjadi *low-level code*. WebAssembly memberikan solusi yang memungkinkan *browser* untuk menjalankan *low-level code* pada sebuah sistem yang terisolasi dan aman. WebAssembly didesain untuk digunakan bersama-sama dengan Javascript untuk mengembangkan aplikasi *web*. Sebuah aplikasi *web* dapat memanfaatkan WebAssembly untuk meningkatkan kinerja dan memanfaatkan Javascript untuk fleksibilitas (Stevenson, 2018).

Dengan menggunakan WebAssembly, *browser* dapat membuat sebuah lingkungan yang terisolasi untuk menjalankan *low-level code*. Lingkungan yang digunakan untuk menjalankan kode WebAssembly memiliki beberapa batasan seperti jumlah memori yang bisa digunakan, *file* yang bisa diakses dan lain sebagainya. Umumnya kode WebAssembly hanya dapat melakukan apa yang dapat dilakukan oleh *web*. *Web* tidak dapat mengakses sembarang *file* yang berada pada komputer, begitu juga dengan WebAssembly. *Web* tidak dapat melakukan beberapa *system call*, begitu juga WebAssembly. Meskipun WebAssembly dapat memberikan isolasi pada program yang berjalan, pembatasan *resource* pada WebAssembly masih sulit dilakukan dan tidak semudah pembatasan *resource* pada *container* ataupun *virtual machine*.

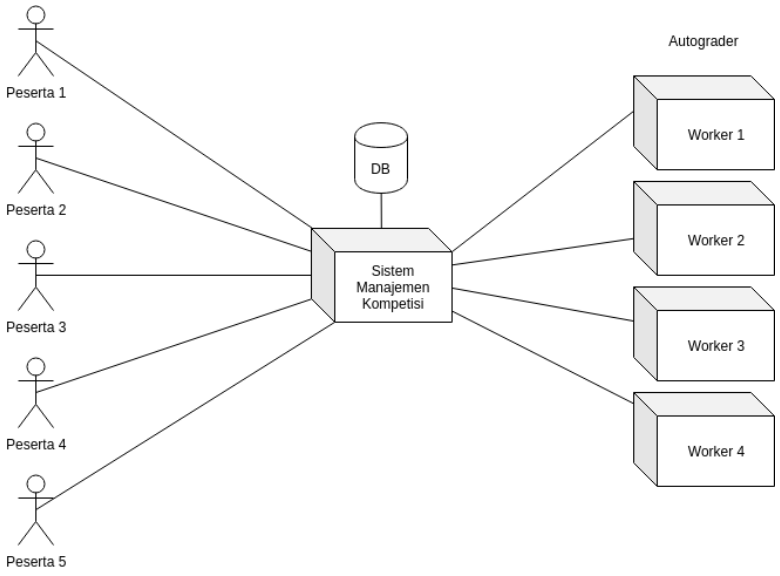
Kode WebAssembly berupa *binary code* yang dapat dibuat dengan cara melakukan kompilasi dari beberapa bahasa seperti C, C++ dan Rust ke dalam format *wasm*. WebAssembly masih baru dan belum banyak bahasa pemrograman yang dapat dikompilasi menjadi WebAssembly. Bahasa pemrograman yang menggunakan *interpreter* atau *runtime environment* seperti Python dan Java masih sulit dijalankan di dalam WebAssembly.

Dalam sistem *autograder*, WebAssembly tidak cocok digunakan karena berbagai alasan, yaitu: masih sedikitnya bahasa pemrograman yang dapat dikompilasi menjadi kode WebAssembly, sulitnya membatasi *resource* pada WebAssembly, sulitnya melakukan perhitungan waktu, dan sulitnya menjaga keamanan. *Browser* yang ada pada saati ini memiliki kemampuan untuk mengubah kode Javascript yang berjalan pada *browser* tersebut, hal ini mengakibatkan munculnya celah keamanan pada WebAssembly jika digunakan untuk mengevaluasi kode peserta.

BAB III

ANALISIS MASALAH DAN RANCANGAN SOLUSI

Dalam mengadakan kompetisi *competitive programming* diperlukan sebuah sistem *online judge*. Sistem *online judge* memerlukan dua buah komponen utama yaitu *autograder* dan sistem manajemen kompetisi. Sistem manajemen kompetisi memberikan layanan yang berhubungan dengan kompetisi seperti melihat soal, mengirim jawaban, membuat klarifikasi, dan melihat *scoreboard*. Sistem *autograder* berfungsi untuk melakukan penilaian terhadap jawaban yang telah dikirim secara *realtime*. Gambar III.0.1 menggambarkan arsitektur sistem *online judge* yang saat ini sering digunakan.

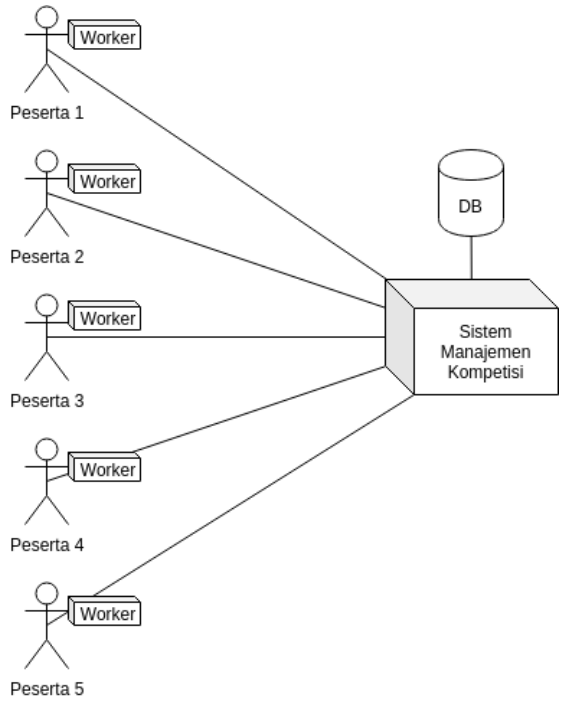


Gambar III.0.1: Arsitektur Sistem *Online Judge* Pada Saat Ini

III.1 Sistem *Autograder*

Sistem manajemen kompetisi memerlukan *autograder* untuk menilai jawaban peserta kompetisi secara otomatis. Sistem *online judge* yang sering digunakan saat ini menggunakan *autograder* yang dipasang oleh juri pada beberapa komputer yang sudah di-

sediakan oleh juri. Pada tugas akhir ini, diciptakan sistem *autograder* yang dapat berjalan pada komputer peserta. Komputer peserta akan bertindak sebagai *worker* yang menjalankan sistem *autograder*. *Worker* adalah komputer yang digunakan oleh sistem *autograder* untuk melakukan kompilasi dan eksekusi terhadap jawaban peserta. Dalam tugas akhir ini, komputer peserta adalah *worker* dari sistem *autograder*. Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam mengembangkan sistem *autograder* seperti pengukuran waktu dan memori, *load balancing*, evaluasi jawaban peserta, dan pengiriman *test-case* ke *worker*. Gambar III.1.1 menggambarkan arsitektur sistem *online judge* yang dibuat pada tugas akhir ini.



Gambar III.1.1: Arsitektur Sistem *Online Judge* Yang Dibuat

III.1.1 Pengukuran Waktu Dan Memori

Komputer peserta memiliki spesifikasi yang berbeda-beda. Perbedaan spesifikasi tersebut menimbulkan beberapa perbedaan ketika sebuah program yang sama dieksekusi. Program yang sama dengan masukan yang sama dapat berjalan dengan waktu dan memori yang berbeda pada komputer yang berbeda. Komputer dengan *clock-speed* yang lebih tinggi akan menjalankan program dengan lebih cepat. Komputer dengan *core* yang lebih banyak juga akan menjalankan program parallel dengan lebih cepat. Selain itu, ukuran *cache* dari komputer juga memengaruhi kecepatan waktu eksekusi. Kebutuhan memori dari suatu program juga ditentukan oleh spesifikasi komputer. Komputer dengan arsitektur 64-bit umumnya memerlukan memori yang lebih besar dibanding-

kan arsitektur 32-bit. Oleh karena itu, program yang dieksekusi pada komputer yang berbeda akan memerlukan waktu dan memori yang berbeda pula.

Penilaian jawaban peserta memerlukan metode pengukuran waktu dan memori yang adil sehingga program peserta yang benar akan dianggap benar oleh setiap *worker*. Begitu juga program peserta yang salah akan dianggap salah oleh setiap *worker*. Pada bab ini, dipaparkan beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengukur waktu eksekusi jawaban peserta.

III.1.1.1 Spesifikasi CPU dan Sistem Operasi

Kecepatan eksekusi sebuah program bergantung pada *clock-speed* dan ukuran *cache* dari CPU. Jika suatu proses hanya diberikan satu buah *core* dari CPU, maka jumlah *core* dari CPU dapat dianggap tidak memengaruhi kecepatan eksekusi proses tersebut. Kecepatan eksekusi program dapat diukur berdasarkan spesifikasi CPU dari komputer yang menjalankannya. Program yang dijalankan pada komputer dengan *clock-speed* dan ukuran *cache* yang rendah akan diberikan batasan waktu yang lebih lama. Sedangkan program yang dijalankan pada komputer dengan *clock-speed* dan ukuran *cache* yang lebih tinggi akan diberikan batasan waktu yang lebih singkat. Kebutuhan memori dari program yang dijalankan pada suatu komputer dipengaruhi oleh arsitektur komputer tersebut. Komputer peserta dapat memiliki arsitektur yang berbeda-beda. Komputer dengan arsitektur 64-bit umumnya memerlukan memori yang lebih besar dibandingkan dengan komputer dengan arsitektur 32-bit. Dengan mengetahui arsitektur komputer, kebutuhan memori dari suatu program dapat diperkirakan.

Pada penilaian jawaban peserta, diperlukan pengukuran waktu dan memori yang sangat akurat. Pengukuran waktu atau memori yang tidak akurat akan menimbulkan ketidakadilan dalam melakukan penilaian jawabab peserta. Dengan hanya memerhatikan spesifikasi dari CPU dan sistem operasi pada komputer peserta, pengukuran waktu dan memori yang akurat sulit dilakukan. Program yang berjalan pada sistem operasi 64-bit tidak selalu memerlukan memori dua kali dari program yang berjalan pada sistem operasi 32-bit. Kebutuhan memori bergantung pada isi dari program yang dijalankan dan beberapa faktor lain. Kecepatan eksekusi dari suatu program pun bergantung dari beberapa faktor lain sehingga pengukuran waktu dengan cara ini sulit untuk dilakukan.

III.1.1.2 CPU *Benchmarking*

Benchmarking dapat dilakukan untuk mengukur kinerja CPU dengan menggunakan sebuah program *test*. Program *test* dapat dijalankan pada CPU untuk mengukur wak-

tu eksekusinya. Program *test* yang dijalankan pada komputer pengguna akan dicatat jumlah instruksi dan waktunya. Jumlah instruksi dan waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan program *test* dapat digunakan untuk mengukur kinerja CPU. Batas waktu dari jawaban peserta kemudian ditentukan berdasarkan hasil eksekusi program *test* tersebut.

Benchmarking pada komputer peserta memiliki celah keamanan. Peserta bisa saja menjalankan program yang berat ketika proses *benchmarking* dilakukan. Hal ini akan menyebabkan waktu eksekusi menjadi lambat dan dapat meningkatkan batasan waktu dari jawaban peserta.

Selain adanya celah keamanan, terdapat kesulitan lain yang ditemukan ketika melakukan *benchmarking* yaitu pembuatan program *test*. Program *test* perlu dibuat sedemikian rupa sehingga dapat memberikan pengukuran waktu dan memori yang akurat. Untuk mengukur waktu eksekusi dan penggunaan memori dari program peserta dengan kompleksitas yang berbeda, diperlukan program *test* yang berbeda. Hal ini mengakibatkan perlunya membuat program *test* untuk setiap jenis soal yang ada pada kompetisi *competitive programming*. Pembuatan program *test* ini kemudian memberatkan juri karena juri perlu memikirkan program *test* yang cocok sehingga dapat memberikan pengukuran waktu dan memori yang akurat.

III.1.1.3 *Benchmarking* Dengan Solusi Juri

Teknik *benchmarking* sebenarnya efektif digunakan oleh *autograder* untuk melakukan pengukuran waktu. Meskipun begitu, teknik *benchmarking* tidak efisien dan memiliki celah keamanan jika digunakan. Juri perlu membuat sebuah program *test* untuk setiap soal yang diberikan kepada peserta. Hal ini memberatkan pekerjaan juri sehingga dinilai tidak efisien. Selain itu, peserta dapat menjalankan proses yang berat pada komputernya sehingga memengaruhi keakuratan teknik *benchmarking*.

Terdapat teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi teknik *benchmarking*. Teknik *benchmarking* dapat menjadi lebih efisien dengan menghindari pembuatan program *test* dari setiap soal pada kompetisi *competitive programming*. Setiap soal dari kompetisi *competitive programming* memiliki solusi yang telah dibuat juri. Solusi dari juri tersebut dapat digunakan sebagai program *test*. Solusi *juri* memiliki kompleksitas yang sesuai dengan soal yang telah dibuat oleh juri sehingga dapat menjadi program *test* yang dapat digunakan untuk mengukur waktu eksekusi dan penggunaan memori dari program peserta secara akurat. Dengan menggunakan solusi juri sebagai program *test*, juri tidak perlu membuat program *test* khusus sehingga proses *benchmarking* dapat menjadi lebih efisien.

Selain masalah efisiensi, teknik *benchmarking* juga memiliki permasalahan lain yaitu bagaimana menghindari kecurangan peserta. Peserta bisa saja menjalankan proses yang berat pada komputernya sehingga mengganggu keakuratan proses *benchmarking*. Hal ini menyebabkan sistem *autograder* menganggap bahwa komputer peserta merupakan komputer yang lambat dan mengakibatkan jawaban peserta yang lambat bisa jadi dianggap jawaban yang benar.

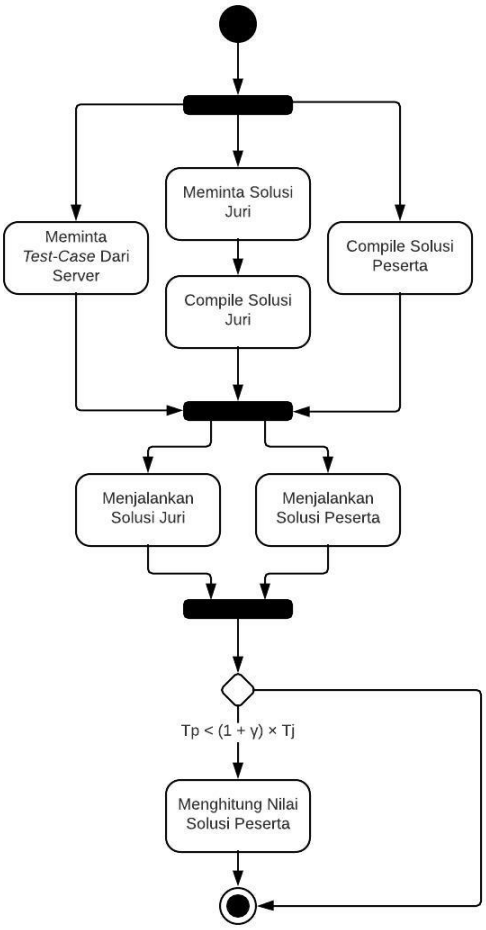
Terdapat teknik yang dapat digunakan untuk menghindari kecurangan peserta pada paragraf sebelumnya. Pengukuran waktu yang dilakukan pada saat benchmarking dapat dilakukan dengan hanya memperhitungkan *CPU Time*. *CPU Time* merupakan waktu dimana proses sedang dijadwalkan untuk dieksekusi oleh *CPU*. Ketika peserta menjalankan banyak proses yang berat, maka *CPU* akan dijadwalkan untuk mengeksekusi proses yang terkait dengan *autograder* secara lebih jarang. Hal ini dikarenakan sistem operasi membagikan *CPU* secara adil untuk seluruh proses yang ada. Dengan cara ini, waktu yang dijadwalkan untuk proses lain tidak akan dihitung dalam *benchmarking*.

Sistem operasi berbasis Linux menyediakan fitur *cgroup* yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran *CPU Time* dari suatu proses. Dengan menggunakan *cgroup*, *resource* yang digunakan oleh proses dapat dipantau. *Cgroup* memungkinkan suatu proses untuk memantau penggunaan CPU dan memori dari proses lain.

Autograder perlu menentukan apakah solusi peserta masih berada pada batas waktu yang diinginkan oleh juri. Hal tersebut dapat dicapai dengan membandingkan waktu eksekusi solusi peserta dengan waktu eksekusi solusi juri. Jika waktu eksekusi solusi peserta masih lebih cepat dari waktu eksekusi solusi juri, maka solusi peserta akan dianggap memenuhi batas waktu.

Meskipun solusi juri dan solusi peserta dieksekusi pada komputer yang sama. Waktu eksekusi kedua program tersebut dapat sedikit berbeda karena adanya perbedaan implementasi antara solusi peserta dan juri. Solusi peserta bisa saja lebih lambat atau lebih cepat dibandingkan dengan solusi juri. Untuk mengatasi perbedaan waktu ini, sebuah faktor toleransi dapat diterapkan pada sistem *autograder*. Solusi peserta dapat diterima jika waktu eksekusinya masih berada pada batas toleransi dari solusi juri. Secara matematis, solusi peserta akan diterima jika memenuhi persamaan berikut $T_{peserta} < (1+\gamma) \times T_{juri}$, dengan γ adalah nilai dari faktor toleransi.

Dengan membandingkan penggunaan CPU dan memori dari solusi peserta dengan solusi juri, perhitungan waktu dan memori yang akurat dapat dilakukan. Meskipun peserta menjalankan program yang berat pada saat penilaian dilakukan, perbandingan waktu eksekusi dari program solusi juri dengan program solusi peserta akan tetap sama. Oleh karena itu, teknik ini digunakan untuk melakukan pengukuran waktu dan



Gambar III.1.2: Diagram Aktivitas Penilaian Solusi Peserta

memori dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Gambar III.1.2 menjelaskan proses penilaian jawaban peserta dengan membandingkan dengan program solusi juri.

Kode. III.1: Contoh Program yang *IO bound*

```
1 #include <unistd.h>
2 int main() {
3     while (1)
4         sleep(1);
5     return 0;
6 }
```

Dengan hanya menghitung *CPU Time* dari proses, terdapat masalah lain yang muncul. Peserta bisa saja mengirimkan jawaban berupa program yang bersifat *IO bound*. Program yang bersifat *IO bound* tidak menggunakan banyak *CPU Time*. Kode III.1 merupakan contoh program yang bersifat *IO bound*. Program tersebut tidak menggunakan banyak *CPU Time* karena hanya melakukan *sleep*. Pada saat *sleep*, proses yang

berjalan tidak akan dijadwalkan untuk dieksekusi oleh *CPU*. Hal tersebut menyebabkan proses dapat berjalan dengan sangat lama akan tetapi *CPU Time*-nya bernilai hampir nol. Program tersebut akan mengakibatkan *autograder* tidak pernah selesai melakukan pengukuran waktu karena *CPU Time*-nya sangat kecil dan proses tidak pernah selesai untuk dijalankan.

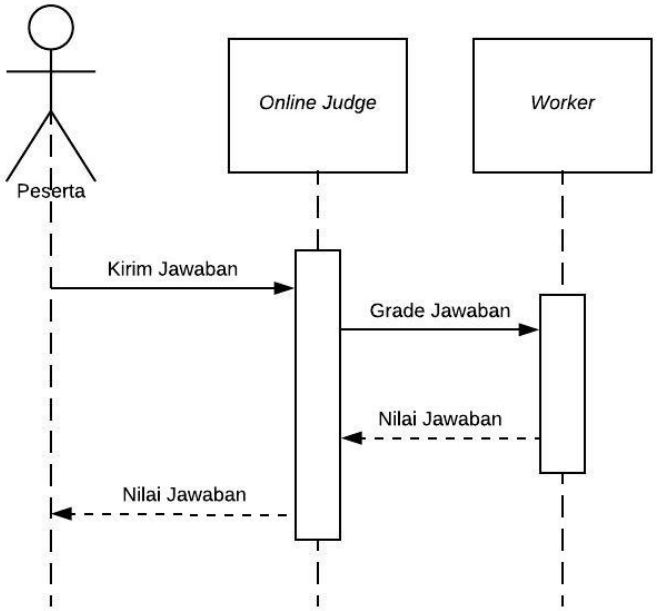
Untuk mengatasi proses yang bersifat *IO bound*, waktu eksekusi dapat dibatasi oleh *wall-clock time*. *Wall-clock* merupakan waktu sebenarnya dimana proses berada berada dalam sistem operasi komputer. Proses yang berjalan ketika melakukan *benchmarking* dapat dibatasi *Wall-clock time*-nya. Batas *wall-clock time* dapat diatur sedemikian rupa sehingga dapat dipastikan bahwa solusi peserta yang melewati batas ini dipastikan tidak lolos. Salah satu contoh batas *wall-clock time* adalah satu detik ditambah lamanya *CPU time* dari proses eksekusi solusi juri.

Penentuan batas *wall-clock time* sulit dilakukan pada komputer dengan spesifikasi yang berbeda-beda. Komputer yang berbeda mungkin memiliki kecepatan *IO* yang berbeda. Hal ini mengakibatkan juri perlu memerhatikan spesifikasi setiap komputer peserta untuk mengatur nilai *wall-clock time* yang tepat. Selain itu, setiap proses pada sistem operasi yang berbasis Linux memiliki prioritas yang dapat diatur. Peserta bisa saja menjadikan sistem *autograder* memiliki prioritas rendah sehingga proses yang melakukan pengukuran waktu jarang dijadwalkan oleh sistem operasi. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya keakuratan proses *benchmarking*.

Untuk mengatasi permasalahan pada paragraf di atas, kecepatan *IO* dari setiap komputer peserta yang digunakan untuk pengukuran waktu dapat dibatasi sehingga seluruh komputer peserta memiliki kecepatan *IO* yang sama. Selain itu, proses *autograder* dapat diatur untuk memiliki prioritas yang tinggi sehingga lebih sering dijadwalkan oleh sistem operasi. Pada tugas akhir ini solusi tersebut tidak digunakan karena masih perlu adanya penelitian lebih lanjut. Pada tugas akhir ini, ketika pengukuran waktu sudah melebihi batas *wall-clock time*, *autograder* akan memberikan *verdict Internal Error* yang menandakan proses penilaian gagal. Penilaian yang gagal tidak akan dihitung dan akan dijadwalkan untuk dikerjakan oleh komputer peserta lain.

III.1.2 *Load Balancing*

Dalam membangun sistem *autograder*, diperlukan pembagian kerja kepada *worker*-*worker* yang ada. *Worker* yang dimaksud adalah komputer yang bekerja melakukan penilaian jawaban peserta. Dalam tugas akhir ini, *worker* merupakan komputer peserta. Karena spesifikasi komputer tiap *worker* berbeda-beda, diperlukan teknik pembagian kerja yang adil kepada seluruh seluruh *worker*. Selain itu, aspek keamanan juga



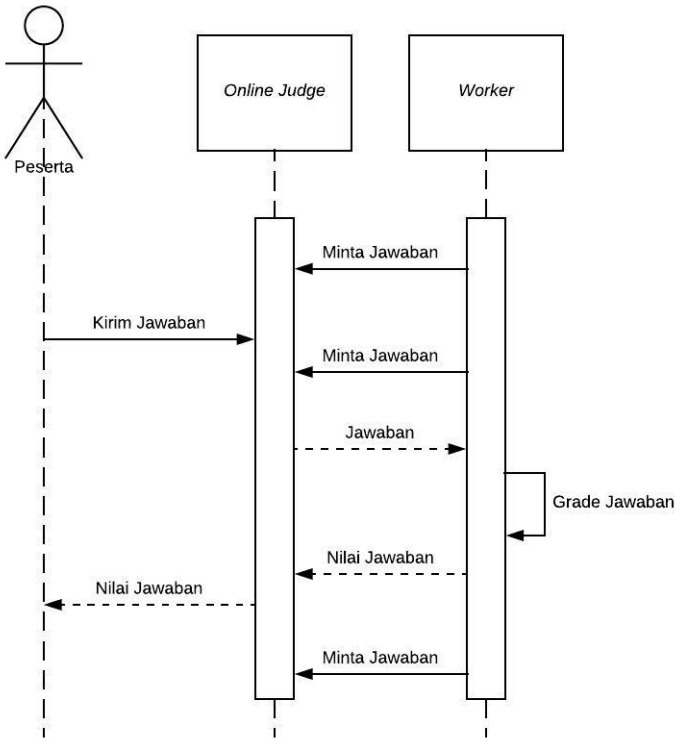
Gambar III.1.3: *Push-Based Load Balancer*

perlu diperhatikan karena jawaban peserta akan dikirimkan ke *worker* lain. Terdapat beberapa pendekatan pembagian kerja yang dapat digunakan, yaitu: *push-based*, *pull-based*, dan *self-grading*.

Pada pendekatan *push-based*, sistem *autograder* memerlukan sebuah *master* yang akan membagikan pekerjaan ke seluruh *worker*. *Master* akan menentukan *worker* mana yang akan diberikan suatu pekerjaan. Dengan menggunakan metode ini, *master* perlu mengetahui informasi *resource* dari seluruh *worker* yang ada. Setiap *worker* perlu mengirimkan informasi *resource*-nya kepada *master*. Metode ini cukup sulit untuk dilakukan karena perlunya mengimplementasikan algoritma *load balancing* pada *master*. Gambar III.1.3 menggambarkan alur pembagian kerja dengan metode *push-based*.

Pada pendekatan *pull-based*, diperlukan juga sebuah *master* yang akan menyimpan seluruh pekerjaan yang perlu diselesaikan. Pendekatan *pull-based* berbeda dengan pendekatan *push-based* dimana *master* lah yang memberikan pekerjaan kepada *worker*. Pada pendekatan *pull-based*, *worker* yang sedang tersedia akan meminta pekerjaan kepada *master*. Dengan pendekatan ini, pembagian pekerjaan akan menjadi rata dengan sendirinya. Metode ini lebih mudah untuk diimplementasikan dibanding dengan metode *push-bashed* karena tidak perlu membuat algoritma *load balancing* yang spesifik pada *master*. Gambar III.1.4 menggambarkan alur pembagian kerja dengan metode *pull-based*.

Selain pendekatan *push-based* dan *pull-based*, terdapat pendekatan lain yang lebih



Gambar III.1.4: *Pull-Based Load Balancer*

sederhana yaitu *self-grading*. Pada *self-grading*, peserta akan menilai jawabannya sendiri. Dengan menggunakan pendekatan ini, tidak diperlukan adanya *master*. Meskipun begitu, pendekatan *self-grading* memiliki celah keamanan karena peserta mengetahui jawaban siapa yang dinilai pada komputernya. Hal ini memungkinkan peserta untuk melakukan serangan-serangan yang mengakibatkan jawaban yang dinilai pada komputernya selalu dianggap benar.

Pendekatan *pull-based* lebih adil dan lebih mudah diimplementasikan dibandingkan dengan pendekatan *push-based*. Pendekatan *pull-based* lebih aman dibandingkan dengan pendekatan *self-grading* karena identitas jawaban yang dinilai pada *worker* lebih rahasia. Oleh karena itu, pendekatan *pull-based load balancing* digunakan pada tugas akhir ini karena lebih adil dan lebih aman dibandingkan dengan dua pendekatan lainnya.

Untuk meningkatkan keamanan, jawaban peserta dapat dinilai pada lebih dari satu buah *worker*. Jawaban peserta dinilai benar jika mayoritas dari *worker* yang menilai jawaban peserta tersebut menyatakan bahwa jawaban tersebut adalah benar. Dengan menilai jawaban peserta di banyak *worker*, risiko yang timbul sebab adanya kecurangan yang dilakukan peserta dapat berkurang. Pada tugas akhir ini, *load balancing* dilakukan dengan pendekatan *pull-based* dan dengan melakukan penilaian jawaban

peserta pada lebih dari satu buah *worker*.

III.1.3 Evaluasi Jawaban Menggunakan Sandbox

Dalam melakukan penilaian terhadap jawaban peserta, diperlukan adanya proses kompilasi dan eksekusi terhadap program yang dikirimkan peserta. Proses kompilasi dan eksekusi ini akan dijalankan pada *worker*. Proses ini dapat membahayakan lingkungan *worker* jika peserta mengirimkan kode program yang berbahaya. Untuk menghindari kerusakan pada *worker*, proses ini perlu diisolasi sehingga tidak berpengaruh pada lingkungan *worker*. Teknik untuk mengisolasi proses eksekusi program ini dinamakan *sandboxing*. Terdapat beberapa teknik *sandboxing* yang dapat digunakan seperti *virtual machine* dan *containerization*.

III.1.3.1 Menggunakan *Virtual Machine*

Virtual machine memberikan isolasi kepada program pada tingkat *hardware*. Komputer yang ada pada saat ini memiliki *hypervisor* yang dapat digunakan untuk menyimulasikan *hardware* dari komputer. Dengan menggunakan *virtual machine*, komputer dapat menjalankan sistem operasi virtual di atas sistem operasi yang sedang berjalan. *Virtual machine* memberikan layanan isolasi yang sangat aman.

Meskipun keamanan *virtual machine* sangat tinggi, akan tetapi banyak *overhead* yang ditimbulkan. Untuk menyalakan *virtual machine*, membutuhkan waktu yang lama dan memori yang cukup besar. Selain itu, diperlukan adanya sistem operasi baru yang berjalan di atas *virtual machine* yang dibuat. Hal ini menyebabkan proses penilaian jawaban peserta menjadi lambat dan membutuhkan sangat banyak memori.

III.1.3.2 Menggunakan *Container*

Container merupakan suatu teknik untuk mengisolasi proses pada tingkat *software*. Dengan menggunakan *container*, proses yang berjalan pada sistem operasi berbasis Linux dapat dibatasi *resource*-nya. Penggunaan memori dan CPU dari suatu proses dapat dibatasi sehingga tidak membebani komputer peserta. Selain itu, Linux memiliki fitur yang memungkinkan pengguna mengisolasi suatu proses sehingga proses tersebut tidak dapat mengatahui informasi rahasia yang ada pada komputer peserta. *Container* dapat dibuat dengan memanfaatkan fitur dari sistem operasi berbasis Linux yaitu: *chroot*, *namespace*, *rlimit* dan *cgroup*. Pada tugas akhir ini, *container* digunakan untuk melakukan isolasi pada proses yang berjalan pada komputer peserta. Teknik ini

dipilih karena memberikan isolasi yang cukup, dan tidak menimbulkan *overhead* yang sangat besar seperti teknik isolasi dengan *virtual machine*.

Chroot memungkinkan proses pada sistem operasi berbasis Linux untuk memiliki *file-system* sendiri. Hal ini dapat dilakukan dengan mengganti *root* dari proses ke *directory* tertentu. Dengan mengganti *root*, maka proses tidak dapat mengakses *file* yang berada di luar *directory root*. *Chroot* dapat dilakukan dengan melakukan pemanggilan *system call chroot*. *System call chroot* hanya dapat dilakukan oleh proses yang memiliki akses *root* atau memiliki *capability CAP_SYS_CHROOT*. Pada tugas akhir ini, program *autograder* diberikan akses *root* sehingga dapat melakukan pemanggilan *system call chroot*.

Namespace merupakan fitur dari Linux yang memungkinkan pengisolasian suatu proses sehingga tidak mengetahui informasi lain di luar *namespace*-nya. Setiap proses pada Linux memiliki *namespace*. Proses yang berada pada *namespace* tidak akan mengetahui informasi dari *namespace* lain. Hal ini memungkinkan suatu proses untuk diisolasi sehingga tidak mengatahui adanya proses lain, *user* lain, ataupun *network interface* lain. Dengan menggunakan *namespace*, keamanan dari lingkungan *worker* dapat dijaga karena jawaban peserta tidak mengetahui informasi mengenai komputer peserta. Pada tugas akhir ini, proses evaluasi jawaban peserta dilakukan di dalam *namespace* yang terpisah dari *namespace* pengguna.

Setiap proses pada sistem operasi berbasis Linux memiliki batas *resource* yang dapat digunakan. Batas tersebut dapat diatur dengan melakukan pemanggilan *system call setrlimit*. Proses yang menggunakan *resource* melebihi batas akan dihentikan oleh sistem operasi. Pada tugas akhir ini, *system call setrlimit* digunakan untuk membatasi jumlah proses yang dapat diciptakan, jumlah *open file descriptor* yang dapat dimiliki, dan ukuran file yang dapat diciptakan oleh program peserta.

Cgroup merupakan fitur dari sistem operasi berbasis Linux yang dapat digunakan untuk membatasi penggunaan *resource* suatu proses. Selain itu, *cgroup* juga dapat digunakan untuk memantau penggunaan *resource* dari proses tersebut. Pada tugas akhir ini, *cgroup* digunakan untuk mengukur penggunaan CPU dan memori dari proses yang berjalan dan menghentikan proses yang menggunakan *resource* secara berlebihan.

III.1.4 Kompilasi Program

Penilaian terhadap jawaban peserta memerlukan adanya tahap kompilasi agar program dapat dijalankan. Keamanan dari proses kompilasi tentunya juga perlu dijaga. Keamanan dari proses kompilasi dapat dicapai dengan menggunakan *sandbox* seperti yang

sudah dijelaskan pada subbab sebelumnya.

Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan kompilasi adalah pengadaan *compiler*. *Compiler* merupakan program yang digunakan untuk melakukan kompilasi kode sumber menjadi program yang dapat dijalankan pada sistem operasi. Komputer peserta tentunya perlu memiliki *compiler* untuk melakukan kompilasi. Untuk menjaga keadilan, seluruh *compiler* yang ada pada komputer peserta perlu memiliki versi yang sama. *Compiler* dengan versi yang berbeda dapat menghasilkan program dengan kemampuan yang berbeda. Terkadang *compiler* dengan versi yang lebih baru dapat memberikan optimisasi pada program sehingga berjalan dengan lebih cepat. Perbedaan versi *compiler* pada komputer peserta akan memberikan ketidakadilan dalam proses penilaian.

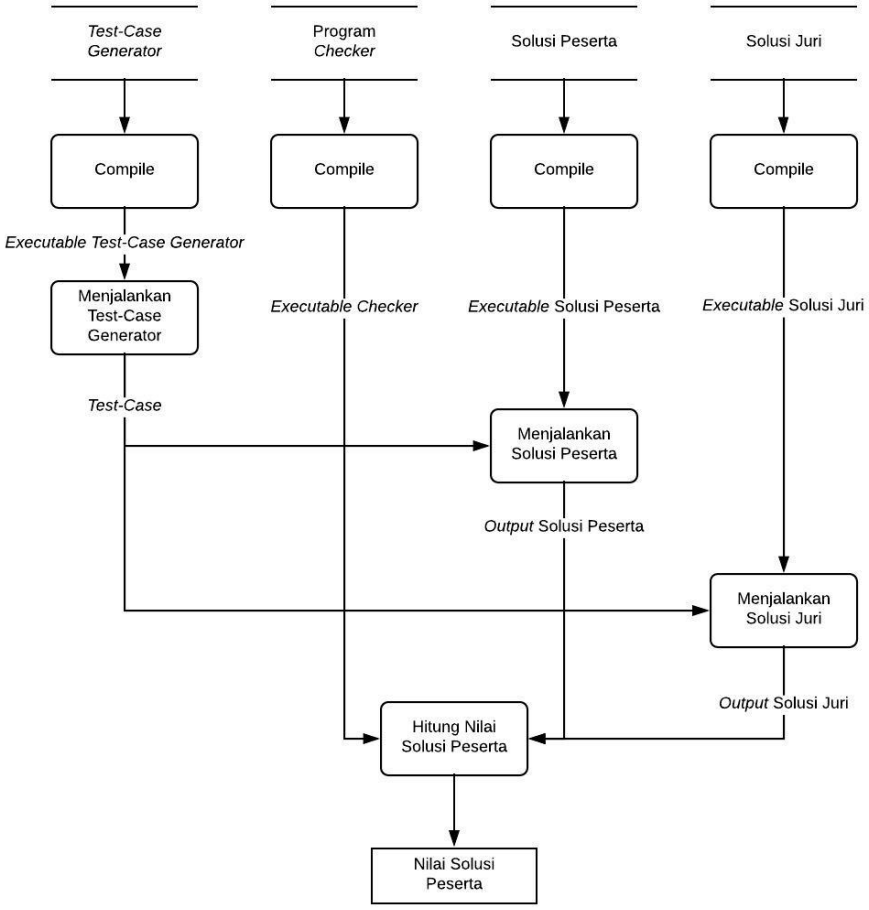
Masalah pada paragraf sebelumnya diatasi dengan melengkapi *autograder* dengan *compiler*. Karena ukuran *compiler* umumnya cukup besar, maka *compiler* di-*compress* ketika didistribusikan ke komputer peserta. Setiap sistem *autograder* dijalankan, *compiler* akan di-*extract* sehingga siap digunakan.

III.1.5 Pengiriman *Test-Case* Ke *Worker*

Dalam melakukan penilaian jawaban peserta perlu adanya pengiriman *test-case* dari *server* ke *worker*. *Test-case* merupakan informasi yang digunakan untuk menentukan kebenaran jawaban peserta sehingga informasi ini bersifat rahasia dan tidak boleh diketahui oleh peserta maupun orang lain di luar kompetisi. *Test-case* digunakan sebagai masukan pada saat menjalankan program solusi peserta dan juri. Kebenaran dari solusi peserta dinilai dari keluaran yang dihasilkan. Salah satu cara untuk menilai kebenaran program peserta tersebut adalah dengan membandingkan keluaran program solusi peserta dengan keluaran program solusi juri. Jika keluaran solusi peserta sama seperti keluaran solusi juri, maka solusi peserta akan dianggap benar. Akan tetapi, seringkali keluaran dari program solusi peserta tidak harus sama persis dengan solusi juri. Soal pada *competitive programming* seringkali memiliki lebih dari satu solusi yang sah dan tidak mungkin untuk menuliskan semua solusi satu per satu. Oleh karena itu, diperlukan juga adanya program *checker* yang digunakan untuk menentukan kebenaran solusi peserta. Program *checker* akan menilai kebenaran solusi peserta berdasarkan keluaran dari program solusi peserta dan program solusi juri.

Test-case dan *checker* merupakan informasi rahasia yang perlu dipertukarkan antara *worker* dan *server*. Pertukaran informasi rahasia ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik kriptografi dimana informasi akan dienkripsi terlebih dahulu sebelum

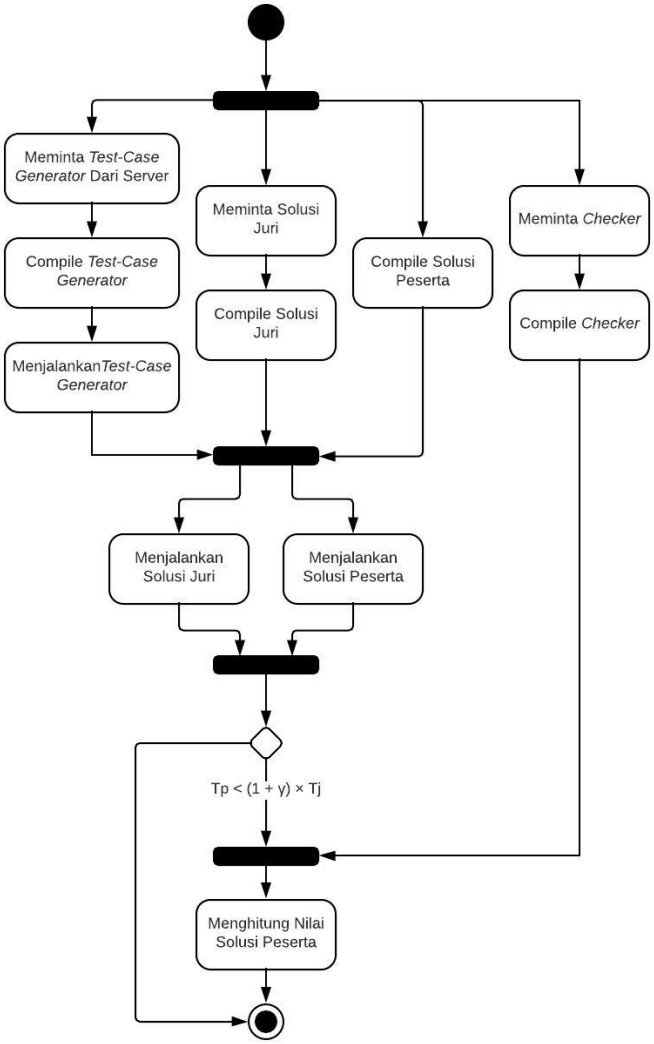
dikirimkan. Proses enkripsi dan dekripsi dapat dilakukan pada lapisan *transport* menggunakan TCP dengan TLS.



Gambar III.1.5: Diagram Aliran Data Pada Proses Penilaian Solusi Peserta

Dengan menggunakan TCP dan TLS, kebocoran informasi yang dikirimkan melalui jaringan dapat dihindari sehingga tidak ada pihak ketiga yang dapat mengetahui isi dari informasi tersebut. Akan tetapi, karena informasi ini diterima oleh komputer peserta, peserta dapat dengan mudah mengetahui isi dari informasi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan satu lapisan enkripsi lagi pada aplikasi yang berjalan pada komputer peserta.

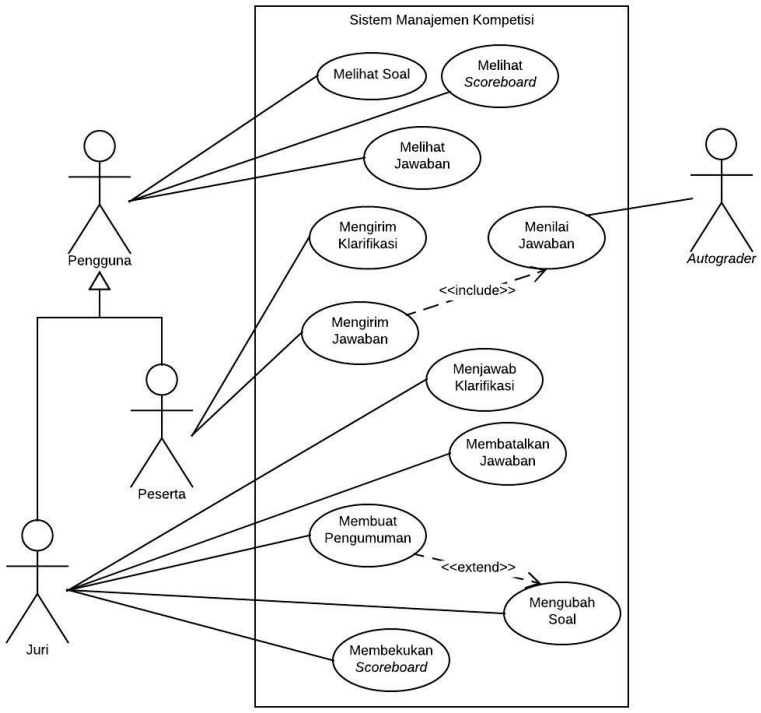
Test-case umumnya merupakan file *text* yang cukup besar. Pengiriman file ini dapat menghabiskan banyak *bandwidth*. Meskipun begitu, *test-case* biasanya dibuat dengan cara dibangkitkan oleh sebuah program yang dibuat oleh juri. *Test-case* yang sama dapat dibangkitkan berulang-kali dengan menjalankan program tersebut. Untuk mengurangi kebutuhan *bandwidth*, *test-case* tidak perlu dikirim, melainkan program pembangkit *test-case* saja yang dikirim. *Test-case* yang akan digunakan untuk melakukan penilaian solusi peserta dibangkitkan dengan program pembangkit *test-case*



Gambar III.1.6: Alur Proses Penilaian Jawaban Peserta

ini seperti pada Gambar III.1.5. Diagram pada Gambar III.1.6 menggambarkan alur proses penilaian jawaban peserta secara lengkap.

Pada tugas akhir ini, *test-case* dipertukarkan dengan mengirimkan program pembangkit *test-case* secara aman. Keamanan diperoleh dengan menggunakan dua kali enkripsi yaitu pada lapisan *transport* dan aplikasi. Terdapat beberapa protokol yang dapat digunakan dalam melakukan pengiriman informasi ini. Protokol yang dipilih pada tugas akhir ini adalah protokol HTTP (*hypertext transfer protocol*). Protokol ini dipilih karena aman dan mudah untuk digunakan.



Gambar III.2.1: Diagram *Use Case* Dari Sistem Manajemen Kompetisi

III.2 Sistem Manajemen Kompetisi

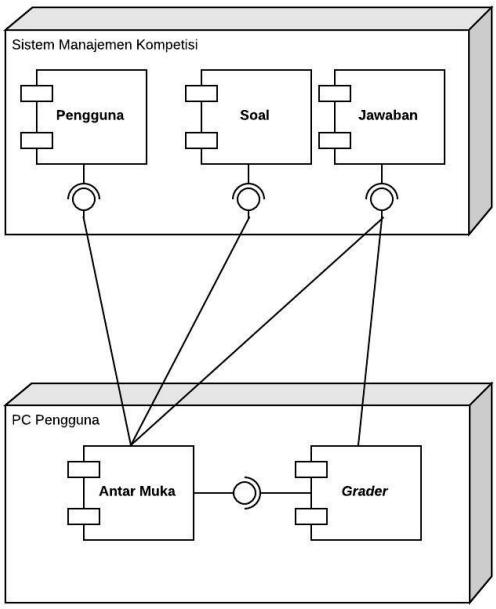
Sistem manajemen kompetisi memberikan layanan kepada peserta kompetisi dan juri untuk berinteraksi. *Online judge* yang populer pada saat ini memberikan sistem manajemen kompetisi berbasis *web*. Sistem manajemen kompetisi ini dibutuhkan oleh peserta dan juri untuk melakukan aksi-aksi terkait kompetisi yang sedang berlangsung. Kebutuhan dari sistem manajemen kompetisi digambarkan oleh diagram *use case* pada Gambar III.2.1. Berikut ini adalah kebutuhan dari sistem manajemen kompetisi pada *online judge*:

1. Peserta dan juri dapat melihat soal.
2. Peserta dapat mengirim jawaban.
3. Sistem *autograder* dapat menilai jawaban peserta.
4. Peserta dapat mengirim klarifikasi soal.
5. Juri dapat membuat pengumuman terkait kompetisi.
6. Juri dapat menjawab klarifikasi peserta.
7. Juri dapat mengubah soal.

8. Peserta dan juri dapat melihat *scoreboard*.
9. Juri dapat membekukan *scoreboard*.
10. Peserta dapat melihat jawaban yang dikirim olehnya.
11. Juri dapat melihat jawaban yang dikirim seluruh peserta.
12. Juri dapat mengatur jawaban peserta untuk tidak dinilai.

Pada tugas akhir ini, tidak semua kebutuhan dari sistem manajemen kompetisi diimplementasikan. Masalah yang ingin diselesaikan dalam tugas akhir ini tidak terletak pada sistem manajemen kompetisi, melainkan pada sistem *autograder*. Oleh karena itu hanya kebutuhan yang berkaitan dengan proses penilaian saja yang diimplementasikan pada tugas akhir ini. Kebutuhan sistem manajemen kompetisi yang diimplementasikan pada tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Peserta dan juri dapat melihat soal.
2. Peserta dapat mengirim jawaban.
3. Sistem *autograder* dapat menilai jawaban peserta.
4. Juri dapat mengubah soal.
5. Peserta dapat melihat jawaban yang dikirim olehnya.
6. Juri dapat melihat jawaban yang dikirim seluruh peserta.



Gambar III.2.2: Diagram Komponen Sistem Manajemen Kompetisi

Sistem manajemen kompetisi yang digunakan pada tugas akhir ini mengikuti sistem manajemen kompetisi yang saat ini banyak digunakan. Sistem manajemen kompetisi ini dapat dibagi menjadi beberapa komponen utama yaitu: pengguna, soal, jawaban, antar muka dan *grader*. Komponen *grader* tidak lain adalah sistem *autograder* yang telah dipaparkan pada bagian III.1. Diagram komponen pada Gambar III.2.2 menggambarkan komponen yang digunakan dalam sistem manajemen kompetisi beserta keterhubungannya.

III.2.1 Komponen Pengguna

Kompetisi *competitive programming* ada yang bersifat tertutup dimana hanya peserta tertentu yang dapat mengikutinya dan terbuka dimana setiap orang dapat mengikutinya. Sistem *online judge* yang populer saat ini umumnya dapat menangani kedua jenis kompetisi tersebut. Untuk memasuki kompetisi, peserta perlu membuat akun di sistem *online judge* tersebut terlebih dahulu. Peserta kemudian dapat memasuki kompetisi dengan cara melakukan *login* pada sistem tersebut. Untuk menangani pendaftaran peserta baru dan *login*, sistem *online judge* perlu memiliki komponen manajemen pengguna yang bertugas melakukan otentikasi dan otorisasi pengguna. Beberapa *online judge* memiliki komponen manajemen pengguna yang memanfaatkan layanan otentikasi dan otorisasi dari pihak ketiga seperti Google, Facebook, Github, dan Auth0. Terdapat juga sistem *online judge* yang melakukan otentikasi dan otorisasi tanpa menggunakan pihak ketiga, misalnya DomJudge dan Mooshak.

Komponen pengguna dibuat pada sistem manajemen kompetisi untuk melakukan otentikasi dan otorisasi pengguna. Untuk menyederhanakan persoalan, pada tugas akhir ini komponen pengguna yang bertugas melakukan otentikasi dan otorisasi pengguna tidak akan menggunakan layanan pihak ketiga. Beberapa *software development framework* seperti Django, Express, dan Laravel memiliki kemampuan untuk menangani masalah ini dengan mudah. Informasi pengguna akan disimpan pada sistem basis data yang sudah tersedia. Otentikasi pengguna akan dilakukan dengan sederhana, yaitu menggunakan *username* dan *password*.

Otorisasi pengguna juga dilakukan secara sederhana yaitu dengan sistem *Role-based access control*. Setiap pengguna akan diberikan *role* tertentu. Aksi-aksi yang dapat dilakukan oleh pengguna ditentukan oleh *role* yang dimilikinya. Setiap pengguna yang berhasil *login* kedalam sistem akan diberikan *token* unik. *Token* unik ini digunakan untuk menentukan *role* dari pengguna yang melakukan aksi pada sistem. *Token* yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah JWT (JSON *Web Token*) karena mudah untuk digunakan dan aman.

III.2.2 Komponen Soal

Pada kompetisi *competitive programming*, deskripsi soal dapat diakses melalui sistem *online judge* yang biasanya berupa halaman web. Dalam beberapa kompetisi, peserta kompetisi akan mendapatkan soal dalam bentuk *hard-copy*. Komponen soal dibutuhkan oleh sistem manajemen kompetisi untuk mengelola soal yang ada pada kompetisi. Komponen ini memberikan layanan kepada pengguna untuk melihat soal. Terkadang terdapat kesalahan pada soal ketika kompetisi berlangsung sehingga komponen ini perlu memberikan layanan kepada juri untuk mengganti soal.

Soal pada kompetisi *competitive programming* memiliki deskripsi yang merupakan penjelasan terhadap masalah yang harus diselesaikan peserta. Pada deskripsi soal terdapat penjelasan mengenai permasalahan yang dimaksud, format masukan, format keluaran, contoh masukan, dan contoh keluaran. *Online judge* yang populer saat ini memberikan deskripsi soal kepada peserta dengan format *pdf* atau menampilkannya dalam halaman web. Komponen soal perlu menyimpan deskripsi soal untuk dapat memberikannya kepada pengguna. Deskripsi soal dapat disimpan pada *filesystem* dalam bentuk pdf atau disimpan dalam sistem manajemen basis data dalam bentuk HTML. Untuk memudahkan implementasi pada tugas akhir ini, deskripsi soal akan disimpan dalam basis data.

Setiap soal perlu memiliki program *test-case generator*, *solution*, dan *checker*. Ketiga buah program ini dibuat oleh juri untuk melakukan penilaian jawaban peserta. *Test-case generator* adalah program yang dibuat oleh juri untuk membangkitkan *test-case* seperti yang sudah dijelaskan pada bagian III.1.5. *Solution* adalah program yang merupakan solusi valid dari soal. Program solusi ini dibuat oleh juri untuk dibandingkan dengan jawaban peserta seperti yang sudah dijelaskan pada bagian III.1.1.3. Program *checker* akan digunakan oleh *worker* untuk menentukan kebenaran jawaban peserta. Terkadang terdapat lebih dari satu jawab yang benar pada sebuah soal. Oleh karena itu, program *checker* ini dibutuhkan untuk menilai jawaban peserta.

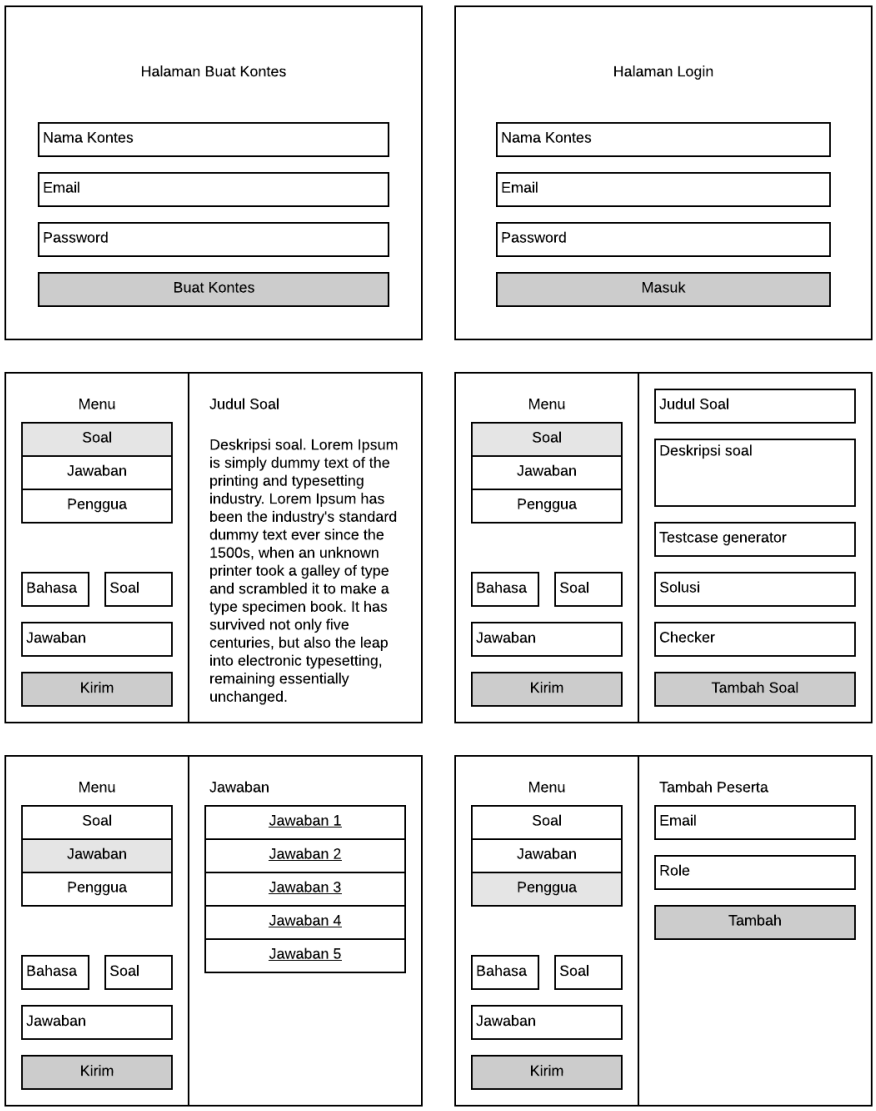
Program *test-case generator*, *solution*, dan *checker* dapat disimpan dalam *filesystem* atau sistem basis data. Pada tugas akhir ini, program-program tersebut disimpan pada *filesystem* dan alamat dari program tersebut disimpan dalam sistem basis data.

III.2.3 Komponen Jawaban

Sistem manajemen kompetisi perlu menyediakan layanan kepada peserta untuk mengirimkan jawaban. Jawaban yang dikirimkan peserta berupa program dalam bentuk *sour-*

ce code dalam bahasa pemrograman yang diizinkan oleh juri. Selain itu, sistem manajemen kompetisi juga harus memberikan layanan kepada peserta untuk dapat melihat kembali jawabannya. Juri juga perlu mengawasi jawaban dari peserta untuk menghindari adanya kecurangan. Oleh karena itu, sistem manajemen kompetisi juga harus dapat memberikan layanan kepada juri untuk melihat seluruh jawaban yang pernah dikirimkan oleh peserta. Pada sistem *online judge* yang dibangun, komponen jawaban berguna untuk memberikan layanan-layanan tersebut. Pada tugas akhir ini jawaban peserta akan disimpan dalam bentuk *file source code* pada *filesystem*.

III.2.4 Komponen Antar Muka



Gambar III.2.3: Desain Tampilan Antar Muka Sistem *Online Judge*.

Untuk memudahkan peserta dan juri berinteraksi dengan sistem *online judge*, diperlukan komponen antar muka. Pengguna yang merupakan peserta dan juri menggunakan antar muka ini untuk melakukan aksi-aksi pada sistem *online judge*. Kebanyakan sistem *online judge* yang populer saat ini menggunakan antar muka berbasis *web*. Antar muka berbasis *web* digunakan karena mudah diakses oleh pengguna, dan cukup ringan untuk dijalankan.

Pada tugas akhir ini, antar muka dibuat dalam bentuk tampilan grafis berbasis web. Untuk memudahkan pengguna, antar muka dibuat sebagai aplikasi *desktop*. Hal ini bertujuan agar komponen antar muka dan *grader* dapat berjalan secara sekaligus. Gambar III.2.3 merupakan rancangan halaman-halaman yang dibangun pada komponen antar muka.

BAB IV

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN

Pada tugas akhir ini, perangkat lunak yang dikembangan berupa sistem manajemen kompetisi, *autograder* dan program antar muka pengguna. Sistem manajemen kompetisi di-*deploy* pada komputer yang disediakan oleh juri dan bertindak sebagai *server*. *Autograder* dan program antar muka akan didistribusikan kepada peserta dan juri untuk dijalankan pada komputernya. Secara keseluruhan, perangkat lunak yang dikembangkan dinamakan UGrade. Nama tersebut berasal dari kata *you* dan *grade*. Nama tersebut dipilih karena proses penilaian atau *grading* dilakukan oleh masing-masing peserta.

Terdapat tiga program utama yang dikembangkan pada UGrade, yaitu: UGServer, UGJob dan UGDesktop. UGServer berfungsi sebagai sistem manajemen kompetisi yang bertindak sebagai server. UGJob berfungsi sebagai *worker* dari *autograder*. UGDesktop berfungsi sebagai antar muka antara pengguna dengan sistem *online judge*. Selain tiga program utama tersebut, terdapat program lain yang digunakan untuk membantu proses pengembangan. Untuk melakukan *sandboxing*, dikembangan program yang bernama UGSbox. Selain itu, untuk memudahkan proses testing, dikembangankan program UGCtl yang dapat digunakan sebagai antar muka pengguna dalam bentuk *command-line*.

IV.1 UGServer (Sistem Manajemen Kompetisi)

UGServer merupakan sistem manejem kompetisi yang berfungsi untuk mengatur keberjalanan kompetisi. UGServer memberikan layanan kepada peserta dan juri untuk berinteraksi dengan kompetisi. Layanan yang diberikan oleh UGServer antara lain:

1. Otentikasi dan otorisasi pengguna.
2. Pembuatan dan pengaksesan kompetisi.
3. Pembuatan dan pengaksesan soal pada kompetisi.

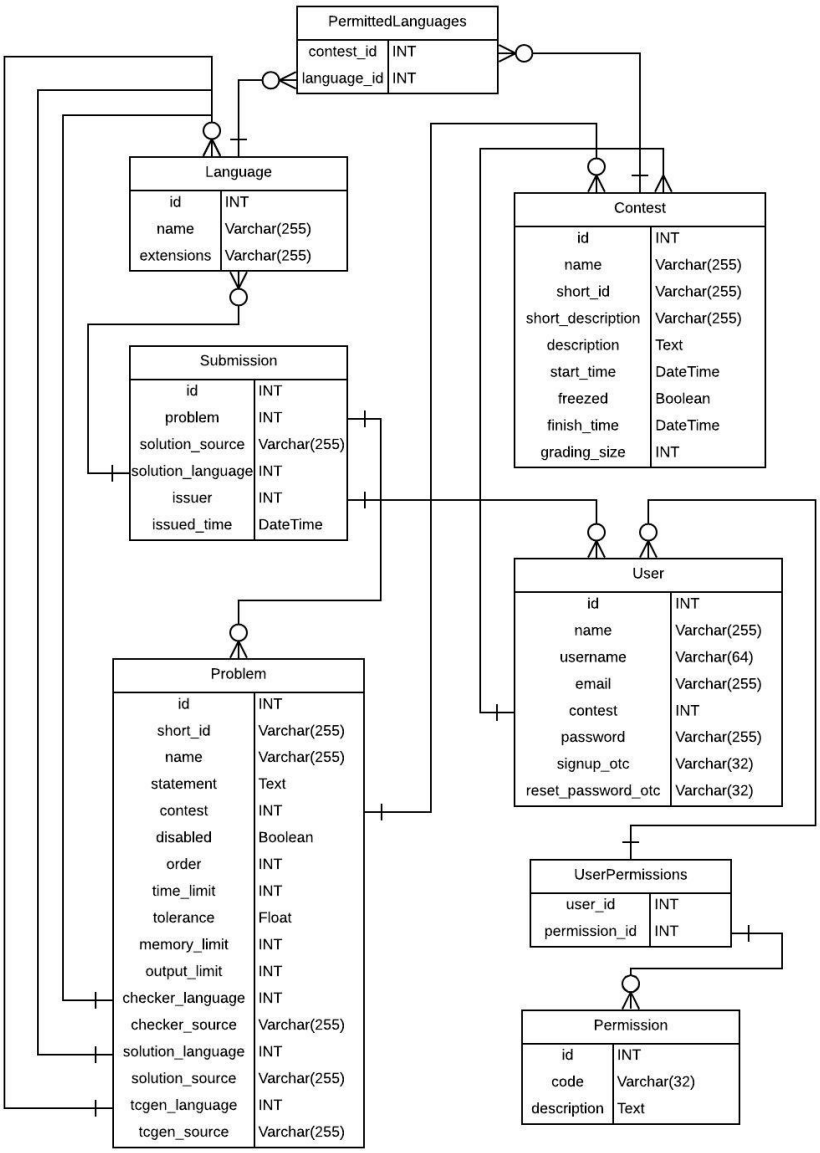
4. Pengiriman dan pengaaksesan jawaban pada kompetisi.

Sebenarnya masih banyak layanan lain yang harus diberikan oleh sistem manajemen kompetisi. Akan tetapi, tugas akhir ini lebih difokuskan pada pengembangan *autograder* dibandingkan dengan sistem manajemen kompetisi. Hal ini dikarenakan tujuan dari tugas akhir ini lebih berfokus pada proses penilaian jawaban peserta. Oleh karena itu, fungsionalitas yang dipaparkan pada paragraf di atas sudah cukup untuk memenuhi tujuan dari tugas akhir ini.

UGServer dikembangkan dengan menggunakan *framework django*. Pengembangan perangkat lunak berbasis *web* dapat dengan cepat dan mudah dilakukan menggunakan *framework django*. Kemudahan dan kecepatan pengembangan tersebut disebabkan karena *django* telah memberikan banyak fitur yang sangat membantu proses pengembangan perangkat lunak seperti otorisasi, otentikasi, dan ORM (*object relational mapper*). Terdapat beberapa teknologi alternatif lain yang dapat digunakan dan dapat meningkatkan kinerja sistem manajemen kompetisi seperti Express atau Go. Kedua alternatif tersebut tidak digunakan karena membutuhkan waktu pengembangan yang lama dan tidak memberikan peningkatan kinerja yang signifikan. Oleh karena itu, *framework django* dipilih untuk mengembangkan UGServer karena mudah dan cepat untuk dikembangkan.

UGServer memberikan API (*application programming interface*) yang dapat digunakan oleh pengguna. API yang diberikan oleh UGServer berupa GraphQL yang berjalan di atas protokol HTTP. GraphQL digunakan karena mudah untuk diimplementasikan dan digunakan. UGDesktop dan UGCtl merupakan program antar muka pengguna yang menggunakan API ini. Terdapat beberapa alternatif lain yang dapat digunakan untuk mengembangkan API dari UGServer seperti menggunakan arsitektur REST (*representational state transfer*) atau menggunakan RPC (*remote procedure call*). Alternatif tersebut tidak digunakan karena tidak fleksibel dan sulit untuk diimplementasikan.

Dalam menjalankan fungsinya, UGServer menggunakan sistem manajemen basis data untuk menyimpan informasi terkait kompetisi. Pada saat ini, UGServer dapat berjalan menggunakan sistem basis data Postgresql atau SQLite. *Framework django* memiliki fitur ORM yang siap digunakan untuk basis data yang bersifat relasional. Karena adanya fitur tersebut, data lebih mudah untuk diatur menggunakan basis data relasional. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penyimpanan data dilakukan dengan memanfaatkan sistem basis data relasional. Gambar IV.1.1 merupakan skema basis data yang digunakan untuk menyimpan informasi terkait kompetisi.



Gambar IV.1.1: Skema Basis Data Sistem Manajemen Kompetisi

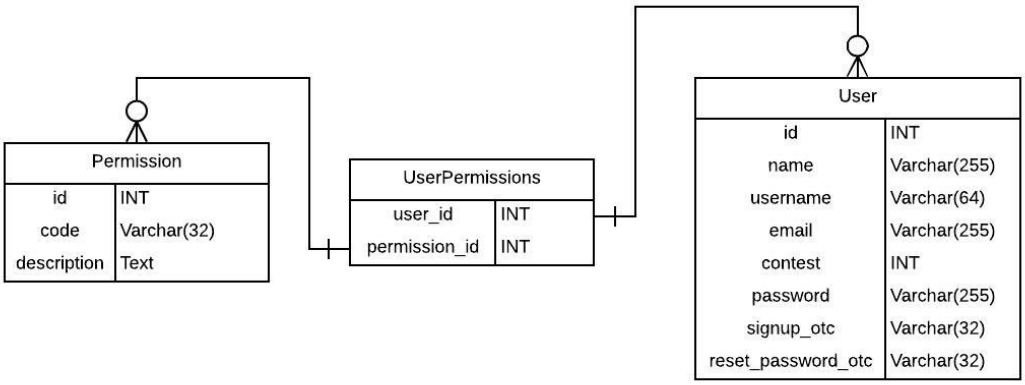
IV.1.1 Manajemen Pengguna

UGServer memberikan layanan untuk melakukan manajemen pengguna. Pengguna pada UGrade terikat pada suatu kompetisi. Pengguna pada suatu kompetisi tidak dapat mengikuti kompetisi lain. Pengguna yang ingin mengikuti dua buah kompetisi harus membuat dua akun. Pengguna dapat membuat akun dengan cara membuat kompetisi. Ketika seseorang membuat kompetisi, maka sebuah akun akan tercipta sesuai dengan alamat *email* orang tersebut. Selain itu, akun dapat dibuat dengan mengundang orang lain ke dalam kompetisi.

Akun yang pertama kali dibuat hanya mengandung informasi alamat *email* pengguna

dan kode untuk otentikasi. Kode tersebut akan dikirim ke *email* pengguna. Hal ini berfungsi sebagai cara untuk mengotentikasi pengguna dengan cara mengotentikasi *email* pengguna. Pengguna kemudian harus memasukkan kode tersebut untuk mengotentikasi dirinya. Pengguna yang telah terotentikasi akan memasukkan informasi mengenai nama lengkap, *username* dan kata sandi. Nama lengkap merupakan nama yang akan ditampilkan pada antar muka kompetisi. *Username* merupakan nama pengguna yang unik untuk setiap kontes dan bersifat mudah untuk dibaca oleh manusia. Setelah melakukan otentikasi *email*, pengguna selanjutnya dapat melakukan otentikasi dengan kombinasi kompetisi yang diikuti, alamat *email* dan kata sandi yang dipilih.

Setiap pengguna dalam suatu kompetisi memiliki alamat *email* dan *username* yang unik. Dalam dua kompetisi berbeda bisa saja terdapat akun dengan alamat *email* yang sama. Hal ini dikarenakan akun pengguna terikat pada suatu kompetisi sehingga seorang pengguna dapat diidentifikasi dengan menggunakan informasi kompetisi yang diikutinya dan alamat *email* atau *username*-nya.



Gambar IV.1.2: Skema Basis Data Sistem Manajemen Pengguna

Pengguna dalam perangkat lunak ini umumnya meliputi juri, peserta dan admin. Perangkat lunak UGServer sebenarnya tidak membeda-bedakan pengguna sebagai juri, peserta ataupun admin. Otorisasi dilakukan dengan memberikan label *permission* kepada setiap pengguna yang ada. Setiap pengguna memiliki himpunan *permission* yang menandakan aksi-aksi apa saja yang dapat dilakukan. Pada saati ini, terdapat beberapa *permission* yang mengatur hak akses pengguna, yaitu:

1. *update:contest*: pengguna dengan *permission* ini dapat mengubah informasi kompetisi.
2. *create:problems*: pengguna dengan *permission* ini dapat membuat soal baru.
3. *read:problems*: *permission* ini menandakan seorang pengguna dapat melihat dan

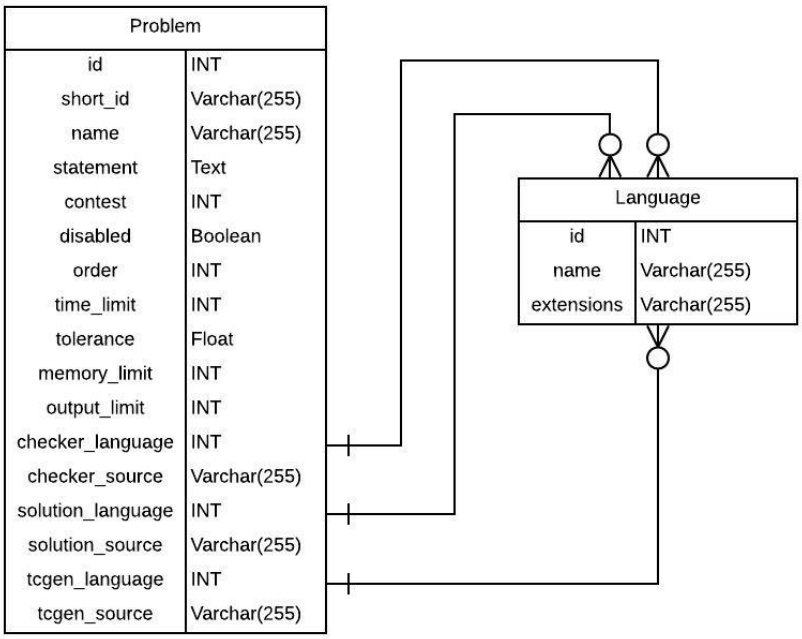
membaca soal.

4. *read:disabledProblems*: beberapa soal dapat ditandai sebagai *disabled* sehingga tidak dapat dibaca oleh pengguna yang tidak memiliki *permission* ini.
5. *update:problems*: pengguna dengan *permission* ini dapat mengubah informasi soal. Soal yang dapat diubah hanyalah soal yang dapat dilihatnya.
6. *delete:problems*: sebuah soal dapat dihapus oleh pengguna yang memiliki *permission* ini. Soal yang dapat diubah hanya soal yang dapat dilihat oleh pengguna yang bersangkutan.
7. *invite:users*: *permission* ini memungkinkan pengguna untuk mengundang pengguna lain.
8. *update:usersPermissions*: seorang pengguna dapat mengubah *permission* dari pengguna lain jika memiliki *permission* ini.
9. *delete:users*: pengguna dapat menghapus keanggotaan pengguna lain jika memiliki *permission* ini.
10. *read:submissions*: dengan *permission* ini, pengguna dapat melihat semua jawaban pengguna lain. *Permission* ini biasanya diberikan untuk juri.
11. *create:submissions*: *permission* ini memungkinkan pengguna untuk mengirimkan jawabannya. Pengguna tanpa *permission* ini dapat dipandang sebagai seorang penonton.

Pemberian *permission* untuk setiap pengguna bertujuan untuk meningkatkan *granularitas* pada hak akses untuk setiap pengguna. Gambar IV.1.2 merupakan skema basis data yang digunakan untuk melakukan manajemen pengguna.

IV.1.2 Manajemen Soal

Setiap soal pada UGServer akan terikat pada suatu kompetisi. Suatu soal tidak dapat berada pada dua kompetisi sekaligus. Jika terdapat soal yang sama pada kompetisi yang berbeda, maka soal tersebut harus ditambahkan dua kali dan tetap dianggap soal yang berbeda. Setiap soal pada kompetisi memiliki nama dan *short id*. Nama soal merupakan judul soal yang akan ditampilkan pada sistem antar muka yang digunakan pengguna. *Short id* merupakan kode soal yang unik untuk setiap kompetisi dan mudah untuk dibaca oleh manusia. *Short id* berguna untuk mengidentifikasi soal dengan mudah.



Gambar IV.1.3: Skema Basis Data Sistem Manajemen Soal

Informasi mengenai soal disimpan di sistem basis data pada tabel *problems*. Skema basis data yang digunakan untuk menyimpan informasi soal digambarkan pada Gambar IV.1.3. Aksi-aksi yang dapat dilakukan oleh pengguna terhadap soal ditentukan berdasarkan *permission* yang dimiliki oleh pengguna tersebut.

Setiap soal memiliki deskripsi soal. Deskripsi soal merupakan penjelasan mengenai soal, format masukan, format keluaran, contoh masukan dan contoh keluaran. Deskripsi soal ditulis dalam format *markdown* dan disimpan pada *field statement* pada tabel *problems*. Pemilihan format *markdown* bertujuan untuk kemudahan melakukan penyimpanan deskripsi soal. Beberapa sistem *online judge* lain memungkinkan melakukan penyimpanan soal dalam bentuk *file* seperti *pdf*. UGServer tidak mendukung penyisipan *file* pada deskripsi soal. Hal ini bertujuan untuk memudahkan implementasi.

Untuk melakukan penilaian terhadap jawaban peserta, setiap soal dilengkapi dengan beberapa informasi terkait penilaian. Beberapa informasi yang terkait dengan penilaian adalah: batas waktu eksekusi, batas penggunaan *memory*, batas *output file* yang dihasilkan, faktor toleransi, *testcase generator*, solusi juri dan *checker*. Batas waktu eksekusi disimpan pada *field timelimit* dalam bentuk bilangan bulat yang menyatakan lamanya batas waktu eksekusi dalam satuan milidetik. Batas waktu ini digunakan oleh *autograder* untuk menghentikan program secara paksa ketika berjalan terlalu lama. Batas penggunaan memory dan *output file* yang dihasilkan disimpan pada *field*

memorylimit dan *outputlimit* di tabel *problems*. Batas tersebut disimpan dalam bentuk bilangan bulat yang menyatakan batas dalam satuan *bytes*. Faktor toleransi disimpan pada *field tolerance* di tabel *problems* sebagai *float*.

Dalam melakukan penilaian, *autograder* memerlukan informasi mengenai *testcase generator*, solusi juri, dan *checker*. Informasi tersebut berupa *source code* pada bahasa pemrograman tertentu. UGServer menyimpan informasi bahasa pemrograman yang digunakan oleh *testcase generator*, solusi juri dan *checker* pada sistem basis data sebagai *foreign key* ke tabel *languages*. Informasi bahasa pemrograman tersebut disimpan pada *field tcgen_language, solution_language*, dan *checker_language* di tabel *problems*. Informasi mengenai kode sumber tidak disimpan dalam sistem basis data karena dianggap kurang efisien jika ukuran *source code* terlalu besar. Oleh karena itu, kode sumber disimpan sebagai *file* yang berada pada *disk*. Dengan begitu, sistem basis data hanya perlu menyimpan informasi mengenai alamat file dari *source code* yang disimpan.

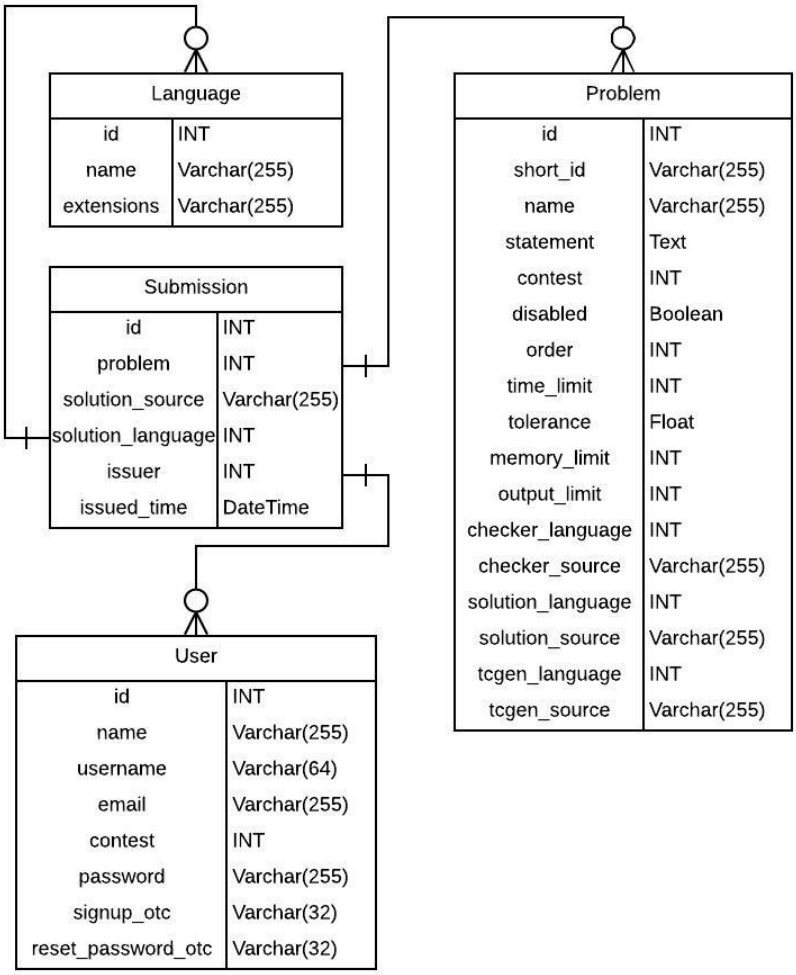
Pengguna dapat melakukan beberapa aksi pada soal yang ada pada sistem seperti: melihat daftar soal, membaca soal, menambah soal, mengubah soal, dan menghapus soal. Pengguna hanya dapat melakukan aksi-aksi tersebut sesuai izin yang dimilikinya seperti yang sudah dijelaskan pada bagian IV.1.1. Aksi-aksi tersebut dapat dilakukan menggunakan *GraphQL API*.

IV.1.3 Manajemen Jawaban

Peserta maupun juri dapat mengirimkan jawabannya terhadap suatu soal jika memiliki *permission create:submissions*. Jawaban terhadap suatu soal berupa *source code* yang ditulis pengguna dalam bahasa pemrograman tertentu yang diizinkan. Pada saat ini, bahasa pemrograman yang dapat digunakan adalah C dan C++. Pengguna dapat mengirimkan jawaban melalui *GraphQL API*.

Source code dari jawaban dari pengguna akan disimpan dalam bentuk *file* yang berada pada *disk*. Selain *source code*, terdapat informasi lain pada jawaban pengguna yang disimpan seperti bahasa pemrograman yang digunakan, waktu pengiriman jawaban, pengirim jawaban dan soal yang bersangkutan. Informasi tersebut disimpan dalam basis data pada tabel *submission*. Gambar IV.1.4 merupakan skema basis data yang digunakan untuk menyimpan jawaban.

Setiap jawaban yang berhasil dikirim oleh pengguna akan dinilai oleh *grader*. *Grader* akan berjalan secara otomatis ketika jawaban peserta disimpan. *Grader* kemudian akan menentukan *verdict* dari jawaban peserta. *Verdict* merupakan hasil penilaian terhadap jawaban peserta. Jenis *verdict* yang digunakan adalah:



Gambar IV.1.4: Skema Basis Data Sistem Manajemen Jawaban

1. *Accpeted*: menandakan bahwa jawaban memberikan keluaran yang benar dan memenuhi batasan.
2. *Wrong Answer*: menandakan bahwa jawaban memberikan keluaran yang salah tetapi memenuhi batasan.
3. *Memory Limit Exceeded*: menandakan bahwa jawaban menggunakan terlalu banyak *memory* melebihi batasan yang ditetapkan.
4. *Time Limit Exceeded*: menandakan bahwa jawaban melebihi batasan waktu yang sudah ditetapkan.
5. *Runtime Error*: menandakan bahwa jawaban tidak berhasil dieksekusi karena adanya kesalahan pada jawaban.
6. *Compile Error*: menandakan jawaban tidak dapat dikompilasi.

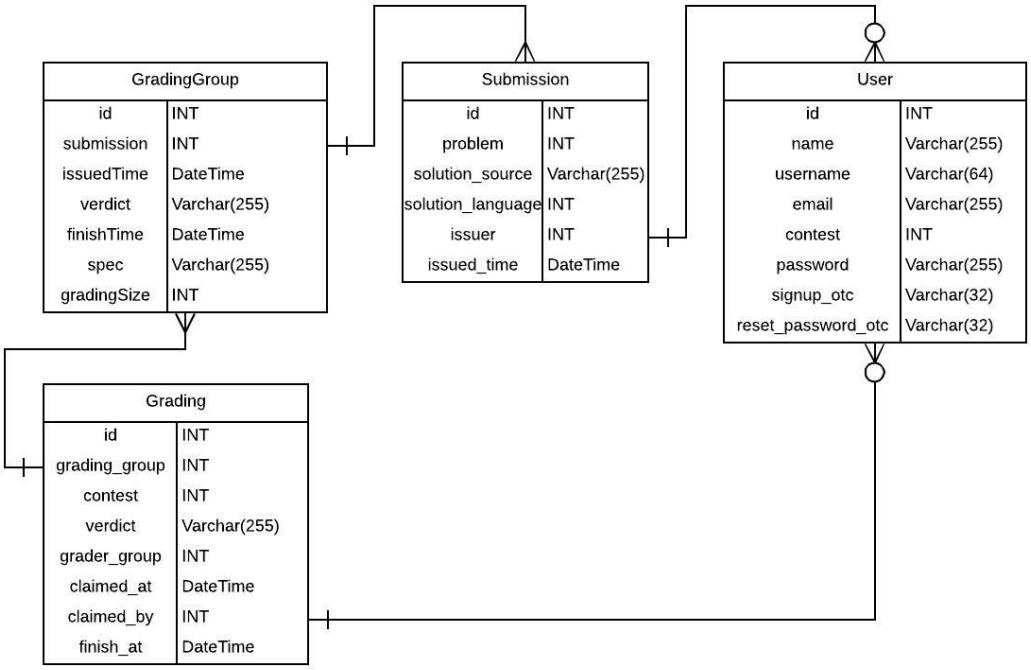
7. *Internal Error*: menandakan adanya kesalahan pada sistem UGrade sehingga jawaban tidak dapat dinilai.

IV.1.4 Penilain Jawaban

Setiap jawaban yang dikirimkan oleh pengguna akan dinilai secara otomatis oleh UGServer. Penilaian dilakukan secara *asynchronous*. Oleh karena itu, peserta tidak perlu menunggu penilaian selesai untuk melakukan aksi-aksi lain. Seringkali terdapat beberapa masalah teknis yang mengakibatkan jawaban peserta perlu dinilai ulang. Oleh sebab itu, setiap jawaban peserta dapat dinilai lebih dari satu kali. Hasil penilaian yang digunakan adalah hasil penilaian yang terakhir.

IV.1.4.1 *Grading Group*

Penilaian pada sebuah jawaban disebut sebagai *grading group*. Setiap jawaban dapat dinilai lebih dari satu kali dan memiliki lebih dari satu *grading group*. Adanya *grading group* berguna untuk melakukan penilaian terhadap jawaban peserta lebih dari satu kali. Jika terdapat perubahan *testcase* atau perubahan batasan waktu pada suatu soal, maka perlu adanya penilaian ulang. Penilaian ulang dapat dilakukan dengan membuat *grading group* baru untuk setiap penilaian.



Gambar IV.1.5: Skema Penilaian Jawaban Pengguna

Informasi dari *grading group* disimpan dalam tabel *GradingGroups* pada sistem basis data. Setiap *grading group* memiliki informasi mengenai jawaban peserta, catatan waktu terciptanya *grading group*, *verdict*, spesifikasi penilaian, catatan waktu selesainya penilaian, dan *grading size*. Informasi-informasi tersebut disimpan sebagai *field* dalam tabel *GradingGroups*. Spesifikasi penilaian berupa *archive file* dan disimpan sebagai *file* dalam *disk*. Field *spec* pada tabel *GradingGroups* menyimpan informasi alamat *file* dari spesifikasi penilaian. Skema basis data yang digunakan untuk melakukan penilaian ditunjukkan pada Gambar IV.1.5.

Penilaian diawali dengan pembuatan spesifikasi penilaian. Spesifikasi penilaian berisi informasi mengenai *testcase generator*, solusi juri, *checker*, solusi peserta dan batasan soal. Informasi tersebut disimpan sebagai *file* dengan format *tar*. Spesifikasi penilain tersebut terdiri dari beberapa file sebagai berikut:

1. tcgen.cpp
   merupakan kode sumber *testcase generator* dari soal. Ekstensi dari *file* dapat berbeda sesuai bahasa pemrograman yang digunakan.

2. solution.cpp
   merupakan kode sumber solusi juri pada soal yang bersangkutan. Ekstensi dari *file* dapat berbeda sesuai bahasa pemrograman yang digunakan.

3. checker.cpp
   merupakan kode sumber *checker* dari soal. Ekstensi dari *file* dapat berbeda sesuai dengan bahasa pemrograman yang digunakan.

4. submission.cpp
   merupakan kode sumber solusi peserta. Ekstensi dari *file* dapat berbeda sesuai dengan bahasa pemrograman yang digunakan.

5. lang.json
   file ini berisi *JSON document* yang menjelaskan bahasa pemrograman yang digunakan sebagai *testcase generator*, solusi juri, *checker* dan solusi peserta. *JSON document* pada *file* ini hanya berisi empat *key*, yaitu *tcgen*, *solution*, *checker*, dan *submission*. Setiap *key* pada *file* ini memiliki *value* yaitu bahasa *ID* dari bahasa pemrograman yang digunakan.

6. problem.json
   file ini berisi *JSON document* yang menjelaskan batasan dari soal. *JSON document* pada file ini berisi empat buah *key*, yaitu *timeLimit*, *outputLimit*, *memoryLimit*, dan *tolerance*. Setiap *key* pada *file* ini memiliki *value* berupa bilangan yang menjelaskan batasan dari soal.

File spesifikasi penilaian ini nantinya akan diunduh oleh *autograder* yang berjalan pada komputer pengguna.

IV.1.4.2 *Grading Size*

Setiap penilaian yang ditandai dengan *grading group* memiliki suatu nilai *grading size*. Nilai dari *grading size* digunakan untuk mengurangi risiko serangan yang mungkin dilakukan pengguna. Sebuah penilaian dapat dilakukan oleh lebih dari satu *worker*. Setiap worker akan memberikan hasil penilaiannya kepada UGServer. Jawaban peserta akan dinilai benar ketika mayoritas dari *worker* yang melakukan penilaian memberikan *verdict accepted*. Nilai dari *grading size* mengindikasikan banyaknya *worker* yang melakukan penilaian.

Nilai *grading size* yang besar akan lebih aman karena dapat lebih mengurangi risiko kecurangan peserta. Hal ini dikarenakan kemungkinan terjadinya kecurangan lebih kecil sebab *worker* yang bekerja lebih banyak. Meskipun begitu, tingginya nilai *grading size* menyebabkan proses penilaian menjadi lebih lambat karena penilaian harus menunggu banyak *worker* untuk selesai terlebih dahulu. Sebaliknya, nilai *grading size* yang kecil dapat mempercepat penilaian akan tetapi mengurangi keamanan. Nilai *grading size* dapat diatur dalam pengaturan kompetisi oleh pengguna yang memiliki *permission update:contests*.

Karena setiap jawaban dapat dinilai lebih dari satu kali, perlu ada entitas yang merepresentasikan penilaian sebuah jawaban oleh sebuah *worker*. Entitas tersebut dinamakan *grading*. Sebuah *grading* memiliki informasi mengenai *grading group* terkait, *verdict*, *grader group*, catatan waktu penilaian, dan pengguna yang melakukan penilaian. Informasi ini disimpan di dalam basis data pada tabel *Gradings*.

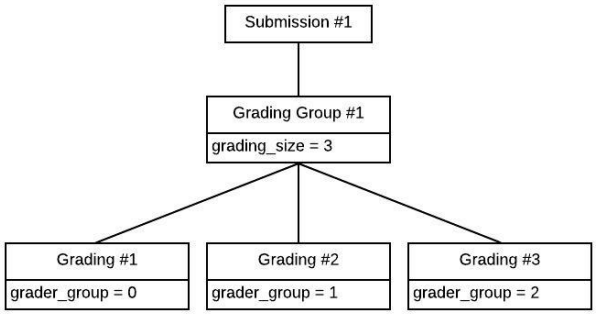
Secara singkat, setiap jawaban dapat memiliki beberapa *grading group* yang merepresentasikan sebuah penilaian terhadap jawaban. Hasil penilaian jawaban pada sebuah *grading group* merupakan hasil penilaian yang dilakukan oleh banyak *worker*. Banyaknya *worker* yang melakukan penilaian adalah sebanyak *grading size*. Setiap penilaian yang dilakukan oleh *worker* direpresentasikan menjadi sebuah *grading*. Secara singkat dapat dikatakan bahwa setiap *grading group* memiliki *grading* sebanyak *grading size*.

IV.1.4.3 *Grader Group*

Adanya nilai dari *grading size* bertujuan agar setiap jawaban dapat dinilai lebih dari satu *worker*. *Worker* yang melakukan penilaian terhadap suatu jawaban tentunya harus

merupakan *worker* yang berbeda. Untuk mengatasi hal ini, setiap *grading* dan *worker* memiliki sebuah nilai *grader group*. *Worker* dengan nilai *grader group* tertentu hanya dapat melakukan penialain terhadap *grading* yang memiliki nilai *grader group* yang sama. Setiap penilaian jawaban peserta, akan dibuat *grading size* buah *grading* yang memiliki nilai *grader group* yang unik yaitu dari nol hingga *grading size* $-$ 1. Setiap *worker* dengan *grader group K* hanya akan melakukan penilaian terhadap *grading* yang memiliki nilai *grader group K*.

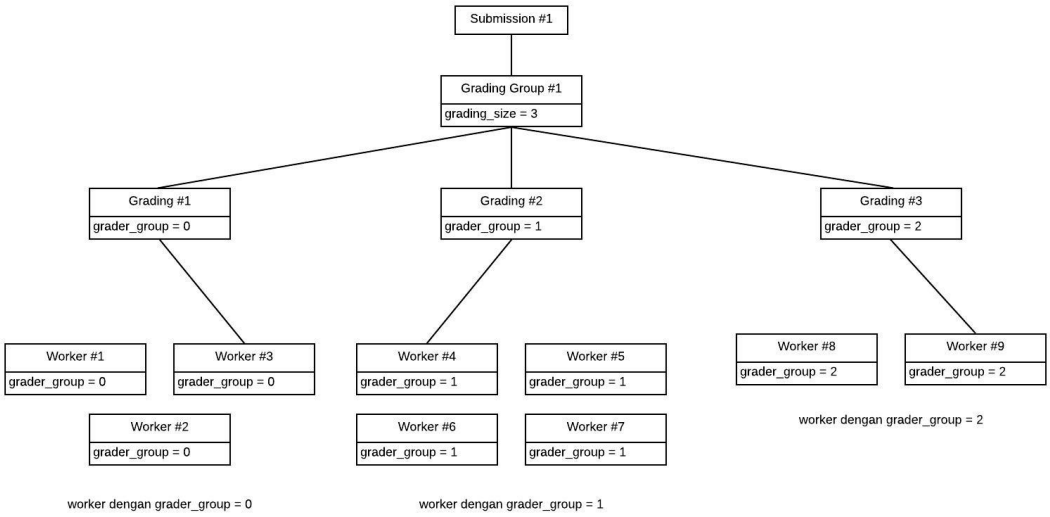
Nilai *grader group* dari setiap *worker* dihitung dengan cara melakukan *hash* pada ID *worker*. Setiap *worker* memiliki ID berupa integer yang unik. Nilai *grader group* sebuah worker dihitung dengan formula $grader\_group = hash(W_{id}) \bmod grading\_size$. Dengan mengasumsikan jumlah *worker* cukup banyak dibandingkan dengan nilai *grading size*, maka cara ini akan mengelompokkan menjadi *grading size* buah kelompok dengan anggota yang kira-kira sama banyak. Cara ini dipilih karena perhitungannya yang cepat, mudah dan dapat mengelompokkan *worker* secara rata.



Gambar IV.1.6: Contoh Proses Pembuatan *Grading*

Sebagai contoh, seorang pengguna telah melakukan pengiriman jawaban terhadap suatu soal. Setelah pengiriman jawaban tersebut berhasil dilakukan, akan tercipta sebuah *submission* yang dapat kita beri nama *Submission #1*. UGServer kemudian akan secara otomatis membuat *grading group* untuk menilai jawaban tersebut. Kita dapat memisalkan *grading group* tersebut bernama *Grading Group #1*. Pada *Grading Group #1* terdapat informasi mengenai *grading size*. Informasi *grading size* didapatkan dari konfigurasi kompetisi. Pengguna dengan *permission update:contest* dapat mengubah nilai ini. Dalam contoh ini, kita misalnya nilai *grading size* dari kompetisi tersebut adalah tiga. Setelah *grading group* terbentuk, UGServer akan membuat *grading size* buah *grading*. Dalam contoh ini berarti akan tercipta tiga buah *grading*. Untuk kemudahan penjelasan, tiga buah *grading* ini dapat kita sebut dengan *Grading #1* , *Grading #2*, dan *Grading #3*. Setiap *grading* yang diciptakan akan memiliki nilai *grader group* yang unik dan terurut dari nol hingga *grading size* $-$ 1. Dalam contoh ini *Grading #1* memi-

liki nilai *grader group* nol, *Grading #2* memiliki nilai *grader group* satu, dan *Grading #3* memiliki nilai *grader group* dua. Gambar IV.1.6 menggambarkan *submission*, *grading group* dan *grading* pada contoh di paragraf ini.



Gambar IV.1.7: Contoh Proses Penilaian Oleh *Worker*

Setelah terbentuk tiga buah *grading* seperti pada paragraf sebelumnya, penilaian dapat mulai dilakukan oleh *worker*. *Worker* secara periodik akan selalu bertanya pada UGServer apakah terdapat *grading* yang perlu dikerjakan. UGServer akan memberikan *grading* yang sesuai dengan nilai dari *grader group worker* yang bersangkutan. Setiap *grading* memiliki informasi *claimed_by* yang akan berisi ID dari peserta yang sedang melakukan penilaian terhadap *grading* tersebut. Nilai tersebut bertujuan agar *grading* yang sedang dinilai tidak akan dinilai oleh *worker* lain. Gambar IV.1.7 menjelaskan pemberian *grading* pada *worker* yang dilakukan oleh UGServer.

Worker yang telah melakukan penilaian akan mengirimkan hasil penilaiannya kepada UGServer. UGServer kemudian akan mengubah nilai *verdict* dari *grading* dan mencatat waktu selesainya penilaian. Jika jumlah *grading* yang selesai dinilai sudah lebih dari setengah dari *grading size*, maka *verdict* dari *grading group* akan diubah. Setelah tahap tersebut, pengguna dapat melihat hasil akhir penilaiannya.

IV.2 UGSbox

Dalam menjalankan penilaian, UGSbox berperan dalam memberikan isolasi terhadap program-program yang berjalan di komputer pengguna. Program-program yang berjalan pada saat penilaian antara lain adalah: *compiler*, *testcase generator*, solusi peserta,

solusi juri, dan *checker*. Program-program ini dapat berisi kode yang membahayakan komputer pengguna yang menjalankannya. Oleh karena itu, diperlukan adanya sistem yang dapat mengisolasi program tersebut sehingga tidak membahayakan komputer pengguna. Pada tugas akhir ini, UGSbox berperan dalam memberikan isolasi tersebut.

UGSbox memberikan isolasi pada proses yang berjalan dengan menggunakan beberapa fitur dari linux. Isolasi yang diberikan *ugsbox* antara lain adalah sebagai berikut:

- isolasi *filesystem*.
  Isolasi terhadap *filesystem* dilakukan dengan menggunakan *system call chroot*. Dengan menggunakan *chroot*, direktori *root* dari suatu proses dapat diganti menjadi direktori lain. Mengganti *root* dari proses mengakibatkan proses tersebut tidak dapat mengakses *file* yang ada di luar *root*. *Filesystem* yang akan digunakan oleh proses dapat dimuat dari *file* yang memiliki format *.tar.xz*. File tersebut dinamakan *image file*. Proses isolasi *filesystem* dimulai dengan melakukan ekstraksi *image file* kemudian mengganti *root* dari proses ke dalam direktori *image file* yang sudah berhasil diekstrak.

- *filesystem binding*.
  UGSbox memberikan fitur *filesystem binding* yang dapat digunakan oleh pengguna untuk memasukkan *filesystem* lain ke dalam *filesystem* yang sudah diisolasi. Fitur ini berguna untuk menyimpan *testcase* ke dalam suatu *filesystem* khusus yang kemudian dapat dimuat ke dalam *filesystem* yang sudah diisolasi.

- isolasi *network*.
  Untuk menjaga keamanan, setiap proses yang berjalan di dalam lingkungan yang diisolasi tidak boleh menggunakan *network* untuk berkomunikasi dengan dunia luar. Untuk mengatasi masalah ini, UGSbox menggunakan fitur *namespace* dari linux. Proses yang diisolasi akan mendapat *namespace* dengan *network interface* yang terisolasi dari *network interface* milik *host*.

- isolasi *user*.
  Selain isolasi *network*, *namespace* pada Linux juga digunakan untuk melakukan isolasi *user*. Dengan mengisolasi *user*, proses yang terisolasi tidak dapat mengetahui adanya *user* lain di luar lingkungannya.

- batas penggunaan CPU dan *memory*.
  Penggunaan CPU dan *memory* dari proses yang diisolasi tentunya perlu dibatasi. Hal ini bertujuan agar proses yang berjalan tidak memberatkan komputer pengguna ketika penilaian sedang berlangsung. Untuk mengatasi masalah ini, UGSbox menggunakan fitur *cgroup* dari linux. Dengan menggunakan *cgroup*,

penggunaan *memory* dan CPU dapat dibatasi dan dimonitor. Proses yang menggunakan CPU atau *memory* melebihi batasan akan dihentikan secara paksa.

- batas ukuran *file* yang dapat dihasilkan.
  Program yang dikirimkan oleh pengguna mungkin saja memuat kode yang dapat memberatkan *disk* karena melakukan penulisan secara terus menerus. Hal ini dapat mengakibatkan komputer pengguna menjadi lambat karena *disk*-nya tidak dapat digunakan. Untuk mengatasi masalah ini, UGSbox membatasi ukuran *file* yang dapat diciptakan oleh proses di dalam lingkungan yang diisolasi. Pembatasan ini dicapai dengan menggunakan *system call setrlimit*.

- batas jumlah *file* yang dapat dibuka.
  Untuk meningkatkan keamanan, jumlah *file* yang dapat dibuka oleh proses yang diisolasi juga dibatasi menggunakan *system call setrlimit*.

- batas proses yang dapat diciptakan.
  Selain membatasi ukuran *file* yang dihasilkan, dan jumlah *file* yang dapat dibuka, UGSbox juga menggunakan *setrlimit* untuk membatasi proses yang dapat diciptakan.

Kode. IV.1: Contoh Hasil Eksekusi Perintah *ugsbox*

```
$ ugsbox guard --help
Usage:
  ugsbox guard [flags]

Flags:
  -b, --bind strings                bind host directory to sandbox
      directory with format <hostdir>:<sandboxdir>. Warning: file
      owner of binded directory will be changed
  -f, --file-size uint              generated file size limit
  -h, --help                        help for guard
  -i, --image string                compressed sandbox image (in .
     tar.xz) path
  -m, --memory-limit uint           memory limit in bytes (default
      67108864)
  -M, --memory-throttle uint        memory throttle in bytes (
     default 268435456)
  -n, --nproc uint                  limit process creation e.g.:
     fork/exec
  -o, --open-file uint              open file limit
  -s, --stack-size uint             limit stack size in bytes
  -E, --stderr string               path (relative to sandbox) to
     file to be used as stderr
```

```
16    -I, --stdin string                path (relative to sandbox) to
          file to be used as stdin
17    -O, --stdout string               path (relative to sandbox) to
          file to be used as stdout
18    -t, --time-limit uint             time limit in milisecond (
          default 10000)
19    -T, --walltime-limit uint         wall clock time limit in
          milisecond (default 10000)
20    -w, --working-directory string    working directory of process (
          default "/home")
21
22  Global Flags:
23        --debug   show debug log
24        --trace   show trace log
```

UGSBox dapat digunakan dengan dua cara, yaitu: sebagai *executable program* atau sebagai *library*. Pengguna dapat menggunakan perintah *ugsbox guard* untuk menjalankan UGSbox melalui CLI. Kode IV.1 merupakan contoh hasil pemanggilan *ugsbox guard*.

Selain melalui CLI, UGSbox juga dapat digunakan melalui pemanggilan fungsi pada bahasa pemrograman GO. Untuk dapat menggunakan UGSbox sebagai *library*, pengguna dapat meng-*import package https://github.com/jauhararifin/ugrade* dan *https://github.com/jauhararifin/ugrade/sandbox*. Penggunaan *library* tersebut dapat dapat dilihat pada dokumentasi UGrade di *https://godoc.org/github.com/jauhararifin/ugrade*.

IV.3 UGJob

UGJob merupakan implementasi dari *worker* pada keluarga perangkat lunak UGrade. UGJob dikembangkan menggunakan bahasa GO dan berperan dalam menilai jawaban pengguna. UGJob dikembangkan sebagai sebuah *executable* yang dapat dijalankan melalui CLI. UGDesktop akan secara periodik menjalankan UGJob untuk melakukan penilaian.

Setiap *grading* yang dihasilkan oleh UGServer akan dinilai oleh *worker* yang ada pada komputer pengguna. *Worker* pada komputer pengguna tidak perlu mengetahui adanya konsep *grading group*, *grading size*, dan *grader group*. *Worker* hanya perlu meminta *grading* pada UGServer untuk dinilai. Dalam meminta *grading*, *worker* hanya perlu mengirimkan ID dari pengguna yang bertindak sebagai *worker*. UGServer akan memberikan *grading* yang sesuai dengan ID pengguna dari *worker* tersebut.

Di sisi *worker*, semua *grading* yang perlu dinilai akan dipandang sebagai sebuah *job*. Pada tugas akhir ini, *job* dapat disamakan dengan *grading* karena sebuah *grading* akan dianggap sebagai sebuah *job* oleh *worker*. Istilah *job* digunakan untuk meningkatkan abstraksi dari *worker*. *Worker* tidak perlu mengetahui konsep penilaian yang dilakukan di sisi UGServer. *Worker* tidak perlu mengetahui adanya konsep *grading* pada UGServer. Semua penilaian yang perlu dilakukan oleh *worker* akan dianggap sebagai sebuah *job*. Dengan menggunakan istilah *job*, sistem penilaian yang ada pada sisi UGServer dapat dengan mudah dimodifikasi tanpa memengaruhi *worker*.

Kode. IV.2: Contoh Hasil Eksekusi Perintah *ugjob consume*

```
$ ugjob consume --help
This program fetch job from server, execute it and send the
   result back to server.

Usage:
  ugjob consume [flags]

Flags:
  -h, --help                help for consume
  -u, --server-url string   Server url (default "http://localhost
     :8000")
  -t, --token string        Your session token

Global Flags:
      --debug   show debug message
      --trace   show trace message
```

UGJob dapat dijalankan melalui CLI dengan mengetikkan perintah *ugjob consume*. UGJob memerlukan *token* yang bisa didapatkan oleh pengguna pada saat melakukan *sign in*. *Token* ini berguna untuk mengidentifikasi ID dari pengguna. UGServer akan menggunakan *token* untuk menentukan *job* mana yang akan dikerjakan oleh *worker*. Kode IV.2 merupakan contoh hasil pemanggilan *ugjob consume*.

Pemanggilan *ugjob consume* akan menjalankan *worker* pada komputer pengguna dan proses penilaian akan mulai dilakukan. Penilaian diawali dengan pengambilan *job* oleh UGJob. UGJob akan meminta *job* kepada UGServer dengan mengirimkan *GET HTTP request* ke UGServer dengan menyertakan *token* yang dimilikinya. *HTTP Request* tersebut akan dikirimkan ke URL */gradings* pada UGServer dengan menyertakan *token* pada bagian *header*.

Setiap permintaan *job* yang dilakukan oleh UGJob akan diproses oleh UGServer. UGServer akan memberikan job yang sesuai kepada UGJob. Pemberian *job* dilakukan de-

ngan memandang *token* yang disertakan oleh UGJob ketika melakukan permintaan *job*. Jika tidak terdapat *job* yang perlu dikerjakan, maka UGServer akan memberikan *HTTP response* dengan status 404. UGServer akan memberikan *job* kepada UGJob dengan bentuk *tar file* yang dikirimkan melalui *body* pada *HTTP response*. Selain itu, UGServer juga menyertakan *job token* pada setiap *job* yang dikirimkan. *Job token* ini berguna untuk membedakan antara satu buah *job* dengan yang lainnya.

Setelah mendapatkan *job* dari UGServer, UGJob akan melakukan penilaian dengan mengekstrak *job* yang didapatkannya. *Job* akan diekstrak pada suatu direktori sementara di */tmp*. Direktori */tmp* dipilih karena sistem secara otomatis akan menghapus isi dari direktori ini ketika *booting*. Selain itu, direktori ini juga sudah standar digunakan sebagai tempat penyimpanan *file* yang bersifat sementara. Direktori *Job* yang sudah berhasil dinilai secara otomatis akan dihapus oleh UGJob.

IV.3.1 Pembangkitan *Testcase*

Untuk melakukan penilaian, diperlukan adanya *testcase*. *Testcase* akan dibangkitkan dengan menggunakan program *testcase generator* yang disertakan pada *file job*. *Testcase generator* ini pertama-tama dikompilasi menjadi *executable file* kemudian dijalankan. *Testcase* yang dihasilkan oleh *testcase generator* disimpan pada direktori sementara di dalam */tmp*.

Program *testcase generator* hanya membangkitkan masukan dari *testcase*. Keluaran dari *testcase* dibangkitkan dengan menggunakan solusi juri. Untuk membangkitkan keluaran dari *testcase*, solusi juri dikompilasi kemudian dijalankan dengan memberikan input yang berasal dari *testcase generator*. Keluaran dari solusi juri ini akan digunakan sebagai keluaran dari *testcase*.

Testcase yang sudah terbentuk disimpan pada suatu direktori tertentu. Direktori yang menjadi tempat penyimpanan *testcase* tidak akan dihapus ketika penilaian sudah selesai dilakukan. Hal ini bertujuan agar proses penilaian *job* selanjutnya tidak perlu melakukan pembangkitan *testcase* lagi.

IV.3.2 Penghitungan Waktu Dan *Memory* Solusi Juri

Waktu dan *memory* dari eksekusi solusi juri perlu dihitung untuk menentukan batasan waktu dan *memory* solusi peserta. Waktu dan *memory* eksekusi solusi juri dihitung pada saat pembangkitan *testcase*. Solusi juri diperlukan dalam membangkitkan keluaran

dari *testcase*. Pada saat keluaran *testcase* dibangkitkan, lamanya waktu eksekusi dan penggunaan *memory*-nya dihitung dan dicatat.

Perhitungan waktu eksekusi dilakukan dengan menggunakan UGSbox. Proses yang dijalankan menggunakan UGSbox dapat dihitung penggunaan waktu dan *memory*-nya. Jika solusi juri melebihi batas waktu yang ditentukan oleh juri, maka UGJob akan memberikan *verdict internal error* yang menandakan bahwa penilaian gagal dilakukan. Hal ini dapat terjadi ketika komputer peserta sangat lambat.

IV.3.3 Eksekusi Solusi Peserta

Setelah *testcase* berhasil dibangkitkan dan batasan untuk peserta sudah berhasil dihitung, solusi peserta akan mulai dijalankan. Seperti program lainnya, solusi peserta dijalankan menggunakan UGSbox untuk menghindari penggunaan *resource* yang berlebihan dan menghindari risiko dari adanya serangan yang ada pada program solusi peserta.

Sebelum solusi peserta dijalankan, tentunya perlu ada proses kompilasi. Proses kompilasi ini dilakukan dengan cara yang sama untuk mengkompilasi program lain. Pada saat kompilasi, beberapa kegagalan mungkin terjadi seperti: kesalahan *syntax*, penggunaan *memory* terlalu besar, dan proses kompilasi berjalan terlalu lama. Jika terjadi kegagalan pada tahap kompilasi, maka UGJob akan memberikan *verdict compile error*.

Penggunaan CPU dan *memory* dari program solusi peserta dibatasi berdasarkan batasan yang diperoleh ketika menjalankan program solusi juri. Jika solusi peserta menggunakan *memory* melebihi batasan yang sudah dihitung, maka UGJob akan memberikan *verdict memory limit exceeded*. Selain itu, jika solusi peserta berjalan terlalu lama dan melebihi batasan waktu yang sudah dihitung maka UGJob akan memberikan *verdict time limit exceeded*. Program solusi peserta mungkin saja melakukan kesalahan yang menyebabkan munculnya *error* seperti pembagian dengan nol, atau mengakses alamat *memory* yang belum dialokasikan. Jika hal ini terjadi, maka UGJob akan memberikan *verdict runtime error*.

Keluaran dari program solusi peserta disimpan pada direktori sementara yang diletakkan pada */tmp*. Selanjutnya keluaran dari program solusi peserta akan dinilai dengan cara dibandingkan dengan keluaran solusi juri. Setelah penilaian selesai dilakukan, keluaran program solusi peserta sudah tidak digunakan lagi. Oleh sebab itu, keluaran program solusi peserta dihapus setelah penilaian selesai dilakukan.

IV.3.4 Penilaian Keluaran Solusi Peserta

Keluaran dari program solusi peserta perlu dinilai kebenarannya. Penilaian kebenaran dari program solusi peserta dilakukan dengan cara membandingkannya dengan keluaran solusi juri. UGJob membandingkan keluaran program solusi peserta dengan program solusi juri dengan menggunakan *checker*.

Checker merupakan sebuah program yang dibuat oleh juri dan digunakan untuk menilai kebenaran program solusi peserta. Seperti pada program lainnya, perlu adanya proses kompilasi yang dilakukan pada *checker*. Proses kompilasi *checker* dilakukan dengan cara yang sama seperti kompilasi program lainnya.

Kode. IV.3: Contoh Program *Checker*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>

int main(int argc, char** argv) {
    if (argc < 3)
        return -1;

    char* output = argv[1];
    int output_fd = open(output, O_RDONLY);
    if (output_fd < 0) {
        perror("Cannot read output file\n");
        return -1;
    }

    char* expected = argv[2];
    int expected_fd = open(expected, O_RDONLY);
    if (expected_fd < 0) {
        perror("Cannot read expected output file\n");
    }

    const unsigned int buffer_size = 1024 * 4; // using 4KB
        buffer
    char* buffer1 = (char*) malloc(buffer_size);
    char* buffer2 = (char*) malloc(buffer_size);
    int read1, read2;
    do {
        read1 = read(output_fd, buffer1, buffer_size);
```

```
31          if (read1 < 0) {
32              perror("Cannot read from output file");
33              return -1;
34          }
35
36          read2 = read(expected_fd, buffer2, buffer_size);
37          if (read2 < 0) {
38              perror("Cannot read from expected file");
39              return -1;
40          }
41
42          if (read1 != read2) {
43              printf("WA\n"); // wrong answer, file has different
                    size
44              return 0;
45          }
46
47          if (memcmp(buffer1, buffer2, read1) != 0) {
48              printf("WA\n"); // wrong answer, file differ
49              return 0;
50          }
51      } while (read1 > 0);
52
53      printf("AC\n");
54      return 0;
55  }
```

Setelah *checker* selesai dikompilasi, *checker* akan dijalankan dengan memberikan masukan berupa masukan *testcase*, keluaran program solusi juri dan keluaran program solusi peserta. *Checker* kemudian akan memberikan keluaran berupa kebenaran dari program solusi peserta. Kode IV.3 merupakan contoh *checker* yang membandingkan kesamaan tiap *byte* dari keluaran solusi peserta dan solusi juri.

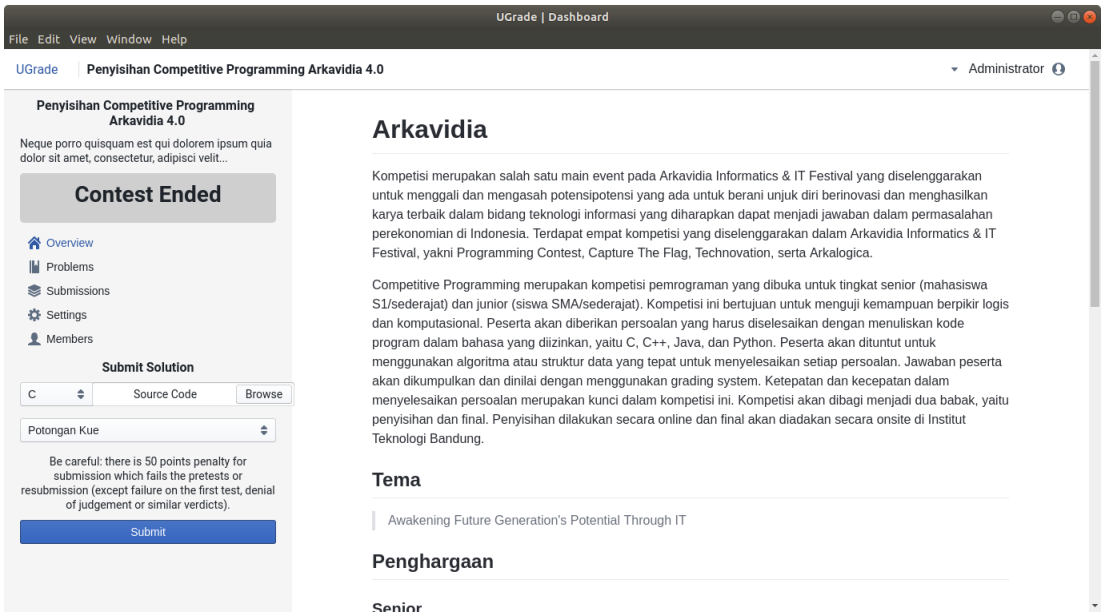
Program *checker* akan memberikan keluaran berupa *string* yang dapat bernilai *AC* atau *WA*. Keluaran *checker* akan bernilai *AC* jika solusi peserta dianggap benar, dan akan bernilai *WA* jika sebaliknya. UGJob kemudian akan mengirimkan *verdict* kepada UGServer sesuai dengan hasil penilaian *checker*.

Program *checker* yang dibuat oleh juri mungkin saja memiliki kesalahan. Kesalahan tersebut mengakibatkan program *checker* menghasilkan *error*. Selain itu, jika program *checker* juga mungkin menggunakan terlalu banyak *memory* dan menghabiskan terlalu banyak *waktu*. Jika hal ini terjadi, maka program *checker* akan dihentikan dan UGJob akan menghasilkan *verdict internal error*.

Setelah penilaian selesai dilakukan dan *verdict* sudah ditentukan, hasil penilaian akan dikirmkan ke UGServer. Hasil penilaian yang dikirimkan berupa *verdict* hasil penilaian. Pengiriman dilakukan melalui *POST HTTP request*. *Job token* disertakan pada *header* dari *HTTP request* sebagai identitas dari *job* yang telah diselesaikan.

IV.4 UGDesktop

Dalam kelompok perangkat lunak UGrade, pengguna dapat berinteraksi dengan sistem kompetisi dengan UGDesktop. UGDesktop memudahkan interaksi pengguna dengan memberikan antar-muka berbasis grafis. Pengguna dapat meng-*install* UGDesktop pada komputernya. Pengguna kemudian dapat menjalankan UGDesktop sebagai aplikasi *desktop* pada komputernya.



Gambar IV.4.1: Halaman Kompetisi Dari UGDesktop

UGDesktop dikembangkan menggunakan *typescript*, *react* dan *electron*. *React* dipilih karena mudah untuk digunakan dan banyak *library* yang mendukung pengembangan aplikasi berbasis *react*. *React* umumnya digunakan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *web* dan membutuhkan *web browser* untuk menjalankan aplikasi tersebut. Pengguna membutuhkan aplikasi yang dapat berjalan sebagai *desktop app* untuk dapat menjalankan sistem antar muka pengguna sekaligus *worker*. Untuk mengatasi hal tersebut, *electron* digunakan untuk menjalankan aplikasi *web* yang berbasis *react* sebagai aplikasi *desktop*. Gambar IV.4.1 merupakan contoh salah satu halaman pada UGDesktop.

Untuk melakukan penilaian, UGDesktop secara periodik akan meminta menjalankan UGJob. Dalam menjalankan UGJob, UGDesktop menggunakan *token* yang didapatkannya ketika pengguna melakukan *sign in*. UGJob yang dijalankan UGDesktop akan meminta *job* dari UGServer untuk dinilai.

IV.5 Pengujian

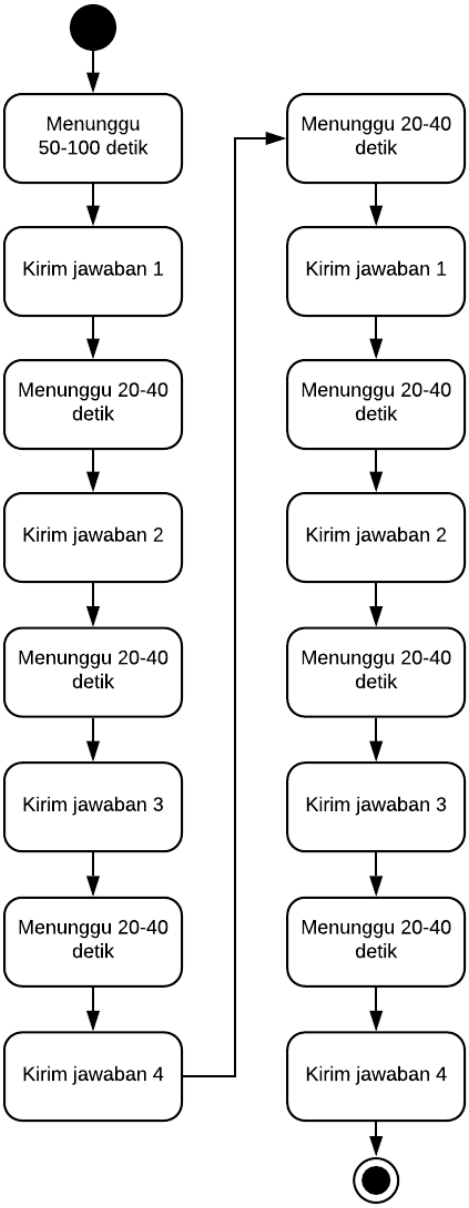
Pada tugas akhir ini, dilakukan tiga jenis pengujian, yaitu: kinerja, kebenaran dan keamanan. Kinerja dari sistem yang dibangun pada tugas akhir ini diuji dengan melakukan simulasi pengiriman jawaban oleh peserta. Untuk mengukur peningkatan kinerja, sistem *online judge* yang dibangun dibandingkan dengan sistem *online judge* lain yang populer digunakan untuk menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*. Kebenaran dari sistem yang dibangun diuji dengan mengirimkan berbagai jenis jawaban kepada sistem. Kebenaran dari sistem ditentukan berdasarkan hasil yang diberikan oleh sistem terhadap berbagai jenis jawaban yang dinilai. Keamanan dari sistem diuji dengan melakukan beberapa jenis serangan kepada sistem. Keamanan dari sisem ditentukan berdasarkan ketahanan sistem terhadap serangan-serangan yang diberikan.

IV.5.1 Pengujian Kinerja

Pengujian kinerja dilakukan dengan menyimulasikan proses pengiriman jawaban oleh pengguna. Sebuah kompetisi diciptakan dengan beberapa pengguna yang akan mengirimkan jawaban secara periodik. Kinerja sistem yang dibangun dibandingkan dengan sistem *online judge* yang bersifat *open source* yaitu DOMJudge. DOMJudge dipilih karena bersifat *open source* dan sudah populer digunakan untuk menyelenggarakan kompetisi *competitive programming*. DOMJudge telah digunakan untuk menyelenggarakan ACM-ICPC, Arkavidia, Vocompfest dan banyak kompetisi lainnya.

Lima belas peserta disiapkan untuk melakukan pengujian kinerja sistem *online judge* yang akan dibandingkan. Lima belas peserta tersebut akan mengirimkan beberapa *source code* kepada sistem *online judge* secara periodik. Pengujian dilakukan dengan membuat sebuah soal *competitive programming*. Soal yang digunakan pada pengujian adalah soal perkalian dua buah polinomial berderajat N. Kompleksitas yang diharapkan oleh juri dari soal tersebut adalah $O(NlogN)$. Soal ini dipilih karena memiliki beragam solusi dengan kompleksitas yang berbeda-beda. Solusi dengan kompleksitas yang lebih buruk dari $O(NlogN)$ akan dianggap sebagai solusi yang salah.

Setiap peserta dari lima belas peserta yang telah disiapkan akan menunggu selama lima



Gambar IV.5.1: Diagram Aktivitas Dari Pengiriman Jawaban Peserta

puluh hingga seratus detik kemudian mengirimkan jawaban secara periodik tiap dua puluh hingga empat puluh detik. Terdapat empat jenis jawaban yang akan dikirimkan oleh peserta, yaitu:

1. Jawaban dengan kompleksitas $O(NlogN)$. Jawaban ini merupakan jawaban yang diharapkan oleh juri dan akan dinilai sebagai jawaban yang benar.
2. Jawaban dengan kompleksitas $O(N^{log_2 3})$.
3. Jawaban dengan kompleksitas $O(N^2)$.

4. Jawaban dengan kompleksitas $O(N^2)$ tetapi berbeda implementasi dengan jawaban ketiga.

Setiap peserta akan mengirimkan empat jawaban tersebut secara periodik. Setiap jawaban dari empat jawaban tersebut akan dikirimkan oleh setiap peserta sebanyak dua kali. Jumlah jawaban yang dikirimkan oleh peserta adalah delapan buah jawaban karena setiap peserta mengirimkan setiap jenis jawaban dua kali. Setelah delapan buah jawaban tersebut dikirimkan oleh peserta, peserta akan berhenti mengirimkan jawaban. Diagram aktivitas pada Gambar IV.5.1 menggambarkan alur pengiriman jawaban yang dilakukan oleh setiap peserta.

Sistem *online judge* yang akan diuji (DOMJudge dan UGrade) di-*deploy* dengan menggunakan layanan EC2 (*elastic compute cloud*) dari AWS (Amazon Web Service). DOMJudge terdiri dari dua jenis program yaitu DOMServer dan JudgeHost. DOMServer merupakan program yang digunakan oleh DOMJudge sebagai sistem manajemen kompetisi sedangkan JudgeHost merupakan program yang berperan sebagai *autograder*. Pada pengujian kinerja, DOMServer dijalankan pada mesin EC2 dengan tipe *t2.medium*. Mesin tersebut memiliki RAM sebesar 4GB dan dua buah *virtual* CPU. Jenis mesin ini dipilih karena murah dan cukup untuk menangani pengiriman jawaban dari pengguna. JudgeHost dijalankan pada EC2 dengan tipe *t2.micro* yang memiliki 1GB RAM dan satu buah *virtual* CPU. EC2 jenis tersebut dipilih karena murah dan cukup untuk melakukan penilaian jawaban peserta.

DOMJudge diuji dengan menjalankan satu buah DOMServer dan dua buah JudgeHost. JudgeHost dijalankan pada dua buah mesin karena umumnya dua buah mesin sudah lebih dari cukup untuk melakukan penilaian jawaban lima belas peserta. Keputusan ini didasari oleh keberjalanan kompetisi *competitive programming* Arkavidia pada tahun 2018 yang diikuti lebih dari seratus orang dengan hanya menggunakan enam buah JudgeHost. Kompetisi tersebut berjalan dengan lancar sehingga dua buah JudgeHost dinilai cukup untuk menilai jawaban dari lima belas orang peserta.

Pengujian pada sistem *online judge* dilakukan sebanyak tiga kali. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan keakuratan pengujian. Waktu lamanya penilaian sebuah jawaban dan banyaknya antrian jawaban yang ada pada sistem dicatat untuk menentukan kinerja sistem. Tabel IV.5.1, IV.5.2 dan IV.5.3 memaparkan data hasil pengujian kinerja sistem *online judge* DOMJudge. Gambar IV.5.2 manggambarkan jumlah jawaban yang berada pada antrian sistem DOMJudge dari waktu ke waktu. Terdapat tiga jenis besaran yang dihitung untuk menentukan kinerja DOMJudge, yaitu:

1. Waktu tunggu

   Waktu tunggu didefinisikan sebagai lamanya sebuah jawaban berada pada an-

trian sistem. Jawaban berada pada antrian sistem mulai dari jawaban tersebut dikirim hingga jawaban tersebut mulai dinilai oleh *autograder*.

2. Waktu pemrosesan
   Waktu pemrosesan didefinisikan sebagai lamanya sebuah jawaban dinilai oleh *autograder*. Sebuah jawaban mulai dinilai ketika *worker* dari *autograder* mengambil jawaban tersebut dari antrian sistem.

3. Waktu penilaian
   Waktu penilaian didefinisikan sebagai lamanya sebuah jawaban mulai dikirim hingga selesai dinilai. Secara sederhana waktu penilaian merupakan total lamanya sebuah jawaban berada dalam sistem *online judge*. Waktu penilaian juga dapat dipandang sebagai total dari waktu tunggu, waktu pemrosesan dan waktu pengiriman jawaban. Untuk melakukan penilaian, *worker* perlu mengambil jawaban yang ada pada antrian sistem *online judge*. Pengambilan jawaban dari antrian sistem memerlukan waktu karena jawaban perlu dikirimkan melalui jaringan sehingga menimbulkan adanya tambahan waktu yang berupa *network latency*. Pada pengujian yang dilakukan, nilai dari *network latency* sangat kecil dan dapat diabaikan. Karena kecilnya *network latency*, waktu penilaian dapat dipandang sebagai total dari waktu tunggu dan waktu pemrosesan.

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	0.068	384.008	188.073
2	0.143	384.832	192.339
3	1.3138	390.6347	194.1095

Tabel IV.5.1: Data Waktu Tunggu Pada Pengujian Kinerja DOMJudge.

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	9.0931	12.4293	10.011825
2	9.0994	16.1991	10.06895833
3	9.0742	15.9872	10.05397167

Tabel IV.5.2: Data Waktu Pemrosesan Pada Pengujian Kinerja DOMJudge.

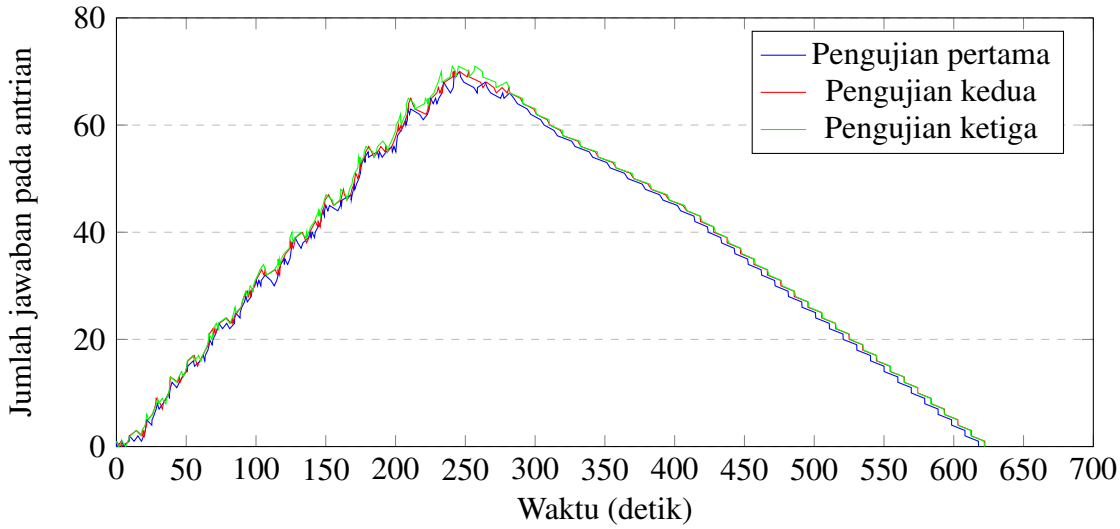
Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	12.3457	393.2282	198.0845733
2	16.3426	393.9705	202.4083175
3	17.301	399.7231	204.1634717

Tabel IV.5.3: Data Waktu Penilaian Pada Pengujian Kinerja DOMJudge.

Berdasarkan Tabel IV.5.3, dapat dikatakan bahwa waktu penilaian dari DOMJudge berkisar antara lima belas detik hingga empat ratus detik dengan rata-rata sekitar dua ratus

detik. Berdasarkan data tersebut, dapat dikatakan bahwa setiap peserta rata-rata perlu menunggu sekitar tiga hingga empat menit untuk mengetahui nilai dari jawaban yang dikirimkannya. Waktu penilaian ini tergolong tinggi untuk penilaian yang dilakukan oleh *autograder*. Menurut Danutama & Liem, 2013, waktu penilaian yang dilakukan oleh *autograder* bernilai kurang lebih sepuluh detik.

Waktu penilaian yang tinggi pada pengujian kinerja DOMJudge disebabkan oleh jumlah *worker* yang tidak sebanding dengan jumlah jawaban yang dikirimkan oleh peserta. Umumnya, pada kompetisi *competitive programming*, peserta jarang melakukan pengiriman jawaban dalam rentang waktu yang singkat, akan tetapi pengujian dilakukan dengan cara menyimulasikan peserta untuk mengirimkan jawaban dalam waktu yang singkat. Hal tersebut bertujuan untuk merepresentasikan keadaan dimana peserta kompetisi berjumlah banyak dan jawaban yang harus dinilai oleh sistem berjumlah banyak dalam waktu yang singkat. Sebenarnya pengujian dapat dilakukan dengan cara meningkatkan jumlah peserta, akan tetapi cara tersebut tidak digunakan karena membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu, pengujian pada tugas akhir ini dilakukan dengan lima belas peserta yang melakukan pengiriman jawaban dalam waktu yang singkat (dua puluh hingga empat puluh detik).



Gambar IV.5.2: Diagram Jumlah Jawaban Pada Antrian DOMJudge.

Gambar IV.5.2 merupakan grafik yang memaparkan jumlah antrian pada DOMJudge seiring berjalannya waktu. Berdasarkan gambar tersebut, puncak jumlah antrian jawaban dari sistem DOMJudge memiliki nilai yang cukup tinggi yaitu tujuh puluh buah jawaban. Dari gambar tersebut terlihat bahwa jumlah antrian pada DOMJudge terus meningkat hingga mencapai suatu puncak tertentu kemudian menurun hingga mencapai angka nol. Terjadinya peningkatan jumlah antrian di awal waktu tersebut disebab-

kan karena peserta sedang aktif mengirimkan jawaban kepada sistem sedangkan seluruh *worker* sedang sibuk melakukan penilaian. Karena tidak ada *worker* yang tersedia, jawaban peserta terus menerus dimasukkan kedalam antrian sistem dan mengakibatkan jumlah antrian sistem terus meningkat. Tidak tersedianya *worker* tersebut disebabkan karena jumlah *worker* yang tidak sebanding dengan jumlah peserta. Setelah jumlah antrian sistem mencapai puncaknya, jumlah antrian tersebut perlahan-lahan mulai turun. Hal ini disebabkan karena peserta sudah tidak aktif mengirimkan jawaban sehingga jumah antrian tidak bertambah lagi dan mulai turun karena *worker* masih melakukan penilaian pada sisa jawaban di antrian tersebut.

Sistem *online judge* yang dibangun pada tugas akhir ini (UGrade) diuji dengan cara yang sama seperti DOMJudge. Seperti DOMJudge, UGrade juga memiliki dua jenis program yang harus dijalankan yaitu sistem manajemen kompetisi dan *autograder*. Pada UGrade, program yang menjadi sistem manajemen kompetisi adalah UGServer dan program yang menjadi *autograder* adalah UGJob. Pengujian dilakukan dengan menyimulasikan pengiriman jawaban oleh lima belas peserta seperti yang dilakukan pada pengujian DOMJudge.

Seperti pada pengujian DOMJudge, sistem manajemen kompetisi UGrade (UGServer) dijalankan pada mesin EC2 yang bertipe *t2.medium*. Karena pada UGrade setiap peserta bertindak sebagai *autograder*, maka pada pengujian ini setiap peserta diberikan sebuah mesin sendiri. Mesin yang digunakan untuk menjalankan *autograder* ini merupakan mesin EC2 yang bertipe *t2.micro*. Mesin tersebut dipilih untuk menyamakan lingkungan *autograder* antara DOMJudge dengan UGrade.

Pengujian UGrade dilakukan dengan mengatur *grading size* dengan beberapa nilai. Nilai *grading size* yang digunakan pada pengujian kinerja adalah satu, dua dan lima. Untuk meningkatkan keakuratan pengujian, setiap nilai *grading size* diuji sebanyak tiga kali. Tabel IV.5.4, IV.5.5 dan IV.5.6 memaparkan data hasil pengujian kinerja sistem *online judge* UGrade. Gambar IV.5.3 manggambarkan jumlah jawaban yang berada pada antrian sistem UGrade dari waktu ke waktu.

Tabel IV.5.4 menggambarkan waktu tunggu dari hasil pengujian kinerja UGrade. Berdasarkan tabel tersebut, rata-rata waktu tunggu dari UGrade bergantung pada nilai *grading size*. *Grading size* yang tinggi mengakibatkan nilai dari waktu tunggu menjadi tinggi. Hal tersebut dikarenakan jumlah jawaban yang ada pada antrian sistem menjadi lebih banyak ketika nilai *grading size* tinggi. Jika nilai *grading size* yang dipilih adalah lima, maka setiap jawaban dimasukkan kedalam antrian sistem sebanyak lima kali.

Meskipun nilai waktu tunggu pada UGrade tinggi ketika nilai *grading size*-nya tinggi,

grading size = 1

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	0.042419	1.344883	0.404296916
2	0.042548	1.557151	0.3983604034
3	0.047345	1.923494	0.4087344167

grading size = 2

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	0.043881	3.361493	0.7797795063
2	0.046084	4.424307	0.8150252743
3	0.040115	3.757078	0.8969267395

grading size = 5

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	0.043896	22.403105	4.316621826
2	0.049549	16.500838	3.108732139
3	0.052324	27.276638	4.006910664

Tabel IV.5.4: Data Waktu Tunggu Pada Pengujian Kinerja UGrade

banyaknya jumlah peserta tidak akan meningkatkan nilai waktu tunggu dari UGrade. Hal tersebut dikarenakan jumlah *worker* juga akan ikut meningkat sesuai dengan peningkatan jumlah peserta. Peningkatan nilai waktu tunggu dari UGrade berbeda dengan DOMJudge. Pada DOMJudge, peningkatan waktu tunggu dipengaruhi oleh jumlah peserta, sedangkan pada UGrade, peningkatan waktu tunggu dipengaruhi oleh nilai *grading size*.

grading size = 1

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.401662	39.077579	12.13586354
2	8.411528	31.197043	11.9722958
3	8.364863	30.426985	11.89300238

grading size = 2

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.009209	29.991333	10.59105839
2	8.315464	30.062005	10.60783176
3	8.114838	30.923159	10.63290684

grading size = 5

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.388995	28.913371	9.896686938
2	8.396959	29.173359	9.882655417
3	8.050263	29.357337	9.698689441

Tabel IV.5.5: Data Waktu Pemrosesan Pada Pengujian Kinerja UGrade

Tabel IV.5.5 memaparkan data waktu pemrosesan jawaban pada UGrade. Berdasarkan tabel tersebut, waktu pemrosesan dari UGrade dapat dikatakan konstan. Waktu pem-

rosesan dari UGrade tidak bergantung pada jumlah peserta maupun nilai *grading size*. Waktu pemrosesan dari UGrade bergantung pada kinerja komputer yang digunakan untuk menjalankan *worker*. Komputer dengan kinerja yang tinggi akan melakukan penilaian jawaban dengan lebih cepat dan mengakibatkan naiknya nilai waktu pemrosesan. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata dari waktu pemrosesan UGrade kurang lebih adalah sepuluh detik. Berdasarkan Tabel IV.5.2 dan IV.5.5, nilai waktu pemrosesan dari UGrade memiliki kesamaan dengan waktu pemrosesan DOMJudge. Hal tersebut dikarenakan mesin yang digunakan untuk melakukan pengujian pada UGrade dan DOMJudge adalah mesin dengan kinerja yang sama.

grading size = 1

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.525866	40.033336	12.54016045
2	8.454445	31.536312	12.3706562
3	8.445607	31.41732	12.3017368

grading size = 2

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.140914	32.316424	11.3708379
2	8.418419	31.976166	11.42285704
3	8.367557	33.021025	11.52983358

grading size = 5

Nomor pengujian	Minimum (detik)	Maksimum (detik)	Rata-rata (detik)
1	8.538458	34.79008	14.21330876
2	8.558542	34.040856	12.99138756
3	8.260255	35.796819	13.70560011

Tabel IV.5.6: Data Waktu Penilaian Pada Pengujian UGrade

Tabel IV.5.6 memaparkan data waktu penilaian jawaban pada UGrade. Pada tabel tersebut, terlihat bahwa nilai *grading size* hanya sedikit memengaruhi waktu penilaian jawaban pada UGrade. Nilai waktu penilaian dapat dipandang sebagai total dari waktu pemrosesan dan waktu tunggu. Berdasarkan Tabel IV.5.5 dan IV.5.4, waktu pemrosesan UGrade dapat dikatakan jauh lebih tinggi dibanding waktu tunggu-nya. Hal tersebut mengakibatkan nilai waktu penilaian hanya sedikit dipengaruhi oleh waktu tunggu. Pada Tabel IV.5.6 terlihat bahwa waktu penilaian dari UGrade dengan nilai *grading size* lima memiliki rata-rata sekitar tiga belas detik. Angkat tersebut dapat dipandang sebagai penjumlahan dari waktu tunggu UGrade yang memiliki rata-rata sekitar empat detik dan waktu pemrosesan yang memiliki rata-rata sekitar sembilan detik.

Berdasarkan Tabel IV.5.3 dan IV.5.6, waktu penilaian pada DOMJudge dan UGrade memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Pada DOMJudge, rata-rata waktu penilaiannya bernilai hingga dua ratus detik, sedangkan pada UGrade rata-rata waktu penilaiannya bernilai sekitar tiga belas detik. Pada DOMJudge, peserta harus menunggu

sekitar tiga menit untuk mendapatkan hasil dari penilaian jawabannya, sedangkan pada UGrade peserta hanya perlu menunggu sekitar tiga belas detik saja. Hal ini disebabkan karena jumlah *worker* pada DOMJudge tidak sebanding dengan jumlah jawaban yang dikirimkan oleh peserta, sedangkan pada UGrade jumlah *worker* mengikuti jumlah peserta.

Gambar IV.5.3: Diagram Jumlah Jawaban Pada Antrian UGrade Dengan Tiga Kali Pengujian

Berdasarkan Gambar IV.5.3, jumlah antrian dari sistem UGrade bergantung pada nilai *grading size*. *Grading size* yang tinggi menybabkan jumlah antrian pada sistem menjadi tinggi pula. *Grading size* yang tinggi menybabkan sebuah jawaban harus dinilai beberapa kali sehingga jumlah antrian pada sistem meningkat. Kinerja dari UGrade dapat ditingkatkan dengan memilih nilai *grading size* yang rendah. Meskipun begitu, nilai *grading size* yang rendah akan mengurangi tingkat keamanan dari UGrade. Juri perlu menentukan nilai *grading size* yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimal. Nilai *grading size* perlu dipilih sedemikian rupa sehingga cukup tinggi untuk menjamin keamanan kompetisi dan cukup rendah untuk dapat memberikan kinerja yang optimal.

Berbeda dengan jumlah antrian pada DOMJudge, jumlah antrian pada UGrade jauh lebih rendah dibandingkan dengan DOMJudge. Hal ini dikarenakan jumlah *worker* yang ada pada DOMJudge selalu tetap dan tidak bergantung pada jumlah peserta, sedangkan jumlah *worker* pada UGrade akan mengikuti jumlah peserta yang ada pada kompetisi tersebut. Pada pengujian yang dilakukan, jumlah *worker* pada DOMJudge jauh lebih kecil dibandingkan dengan jumlah peserta kompetisi sehingga jumlah antrian pada sistem DOMJudge mengalami kenaikan di awal waktu dan memiliki puncak yang cukup tinggi. Grafik antrian pada UGrade tidak memiliki kenaikan yang signifikan maupun puncak yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan jumlah *worker* pada UGrade akan mengikuti banyaknya peserta pada kompetisi tersebut sehingga beban dari setiap *worker* akan cenderung konstan berapapun pesertanya.

IV.5.2 Pengujian Kebenaran

Selain pengujian kinerja, diperlukan pengujian kebenaran dari sistem yang dibangun. Pengujian kebenaran dilakukan dengan menyimulasikan proses pengiriman jawaban oleh peserta. Kebenaran sistem yang dibangun ditentukan berdasarkan *verdict* penilaian yang diberikan oleh sistem. Sistem yang benar akan memberikan *verdict* yang sama ketika jawaban yang sama dinilai berkali-kali di komputer yang berbeda. Pada pengujian kebenaran, digunakan sebuah soal dengan enam buah jawaban yang diharapkan akan memiliki *verdict accepted*, *wrong answer*, *memory limit exceeded*, *time limit exceeded*, *runtime error*, dan *compile error*.

Pengujian kebenaran dilakukan dengan mengirimkan berbagai jenis jawaban kepada sistem UGrade. Soal yang digunakan untuk melakukan pengujian merupakan soal perkalian polinomial berderajat seratus ribu. Soal tersebut didapatkan dari kompetisi Arkavidia 2018. Soal tersebut dipilih karena memiliki solusi yang beraneka ragam dengan kompleksitas yang berbeda-beda. Kompleksitas yang diharapkan dari soal tersebut adalah $O(NlogN)$.

Tujuh jenis jawaban dikirimkan ke sistem UGrade untuk menguji kebenaran dari sistem. Tujuh jenis jawaban tersebut adalah sebagai berikut:

1. Jawaban yang diinginkan oleh juri, yaitu jawaban dengan kompleksitas $O(NlogN)$.
2. Jawaban dengan kompleksitas $O(Nlog_23)$. Jawaban ini memiliki kompleksitas yang lebih buruk dari jawaban yang diharapkan oleh juri dan dianggap sebagai jawaban yang salah karena tidak berjalan dengan cukup cepat.
3. Jawaban dengan kompleksitas $O(N^2)$. Seperti pada jenis jawaban ke-dua, jawaban ini dinilai tidak cukup cepat untuk persoalan yang diberikan.

4. Jawaban dengan kompleksitas $I(N^2)$. Jawaban ini memiliki kompleksitas yang sama seperti pada jawaban jenis ketiga tetapi memiliki implementasi yang berbeda.

5. Jawaban dengan penggunaan memori yang terlalu banyak. Jawaban ini menggunakan memori yang melebihi batasan dari juri.

6. Jawaban yang menimbulkan adanya *runtime error* karena ada pengaksesan memori yang belum dialokasikan.

7. Jawaban yang memiliki kesalahan penulisan dan tidak dapat dikompilasi.

Jawaban tersebut akan dikirimkan ke sistem UGrade. *Verdict* yang diberikan oleh UGrade dicatat untuk menentukan kebenaran dari program UGrade. Untuk meningkatkan akurasi, setiap jenis jawaban dikirimkan sebanyak lima puluh kali. Jawaban yang sama harus memiliki *verdict* yang sama jika dinilai berkali-kali.

Pengujian dilakukan pada komputer dengan *clock speed* 2.5GHz dan RAM 8GB. Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. UGrade menghasilkan *verdict accepted* untuk seluruh jawaban jenis pertama yang dikirimkan.

2. UGrade menghasilkan *verdict time limit exceeded* untuk seluruh jawaban jenis ke-dua yang dikirimkan.

3. UGrade menghasilkan *verdict time limit exceeded* untuk seluruh jawaban jenis ke-tiga yang dikirimkan.

4. UGrade menghasilkan *verdict time limit exceeded* untuk seluruh jawaban jenis ke-empat yang dikirimkan.

5. UGrade menghasilkan *verdict memory limit exceeded* untuk seluruh jawaban jenis ke-lima yang dikirimkan.

6. UGrade menghasilkan *verdict runtime error* untuk seluruh jawaban jenis ke-enam yang dikirimkan.

7. UGrade menghasilkan *verdict compile error* untuk seluruh jawaban jenis ke-tujuh yang dikirimkan. Hasil pengujian tersebut sesuai yang diharapkan. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem *online judge* UGrade dapat dikatakan lolos uji kebenaran.

IV.5.3 Pengujian Keamanan

Sistem *online judge* yang dibangun perlu memiliki tingkat keamanan yang cukup sehingga tidak membahayakan komputer peserta dan sistem. Pengujian keamanan dilakukan dengan menyimulasikan pengiriman jawaban yang berbahaya ke sistem *online judge*. Pengujian keamanan dilakukan dengan mengirimkan lima jenis jawaban yang berbahaya, yaitu:

Kode. IV.4: *Fork Bomb*

```
1 #include <unistd.h>
2
3 int main() {
4   while (1)
5     fork();
6   return 0;
7 }
```

1. Jawaban yang berisi *fork bomb* seperti pada Kode IV.4.

Kode. IV.5: *Compile Bomb*

```
1 main[-1u]={1};
```

2. Jawaban yang berisi *compile bomb* seperti pada Kode IV.5.

Kode. IV.6: *Program Yang Mencoba Keluar Dari Lingkungan Chroot*

```
1  #include <fcntl.h>
2  #include <unistd.h>
3  #include <sys/stat.h>
4  #include <sys/types.h>
5  #include <stdlib.h>
6
7  int main() {
8    struct stat sbuf;
9    if (stat("temp",&sbuf)<0) {
10     mkdir("temp",0755);
11   }
12
13   chroot("temp");
14   for (int i = 0; i < 1024; i++) chdir("..");
15   chroot(".");
16
```

```
17    int fd = open("/tmp/breakout", O_CREAT|O_WRONLY, 0660);
18    write(fd, "break from jail", 15);
19    close(fd);
20
21    return 0;
22  }
```

3. Jawaban yang mencoba keluar dari lingkungan *sandbox* seperti pada Kode IV.6.

Kode. IV.7: *Sleeping Program*

```
1  #include <unistd.h>
2  int main() {
3      while (1)
4          sleep(1);
5      return 0;
6  }
```

4. Jawaban yang hanya melakukan *sleep* seperti pada Kode IV.7.

Kode. IV.8: Program Dengan IO yang besar

```
1  #include <bits/stdc++.h>
2  #include <unistd.h>
3
4  using namespace std;
5
6  int main()
7  {
8    ios::sync_with_stdio(0);
9    int n = 4 * 1024;
10   char *buff = (char *)malloc(n);
11   while (1)
12   {
13     for (int i = 0; i < n; i++)
14       buff[i] = rand() % 26 + 'a';
15     buff[n - 1] = 0;
16     printf("%s\n", buff);
17     fflush(stdout);
18   }
19   free(buff);
20   return 0;
21 }
```

5. Jawaban yang menghasilkan *file* yang sangat besar seperti pada Kode IV.8.

Worker yang menjalankan lima jenis jawaban tersebut harus dapat menghentikan proses penilaian karena jawaban tersebut berpotensi menimbulkan kerusakan pada *worker*. Komputer yang bertindak sebagai worker diharapkan dapat tetap berjalan setelah jawaban tersebut dieksekusi. Keamanan dari UGrade ditentukan berdasarkan adanya efek samping yang muncuk setelah jawaban-jawaban tersebut dieksekusi. Jika tidak ada efek samping yang muncul setelah jawaban tersebut dieksekusi, maka sistem UGrade dikatakan lolos uji keamanan.

Pengujian dilakukan menggunakan komputer yang memiliki empat buah *core* CPU dengan *clock speed* 2.5GHz dan memiliki RAM sebesar 8GB. Hasil dari pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Worker* berhasil menghentikan program solusi peserta yang mengandung *fork bomb* dan memberikan *verdict time limit exceeded*. Hal tersebut dikarenakan program peserta hanya melakukan pemanggilan *system call fork* secara terus menerus tanpa pernah berhenti sehingga *worker* menganggap program tersebut menghabiskan *resource* CPU. Pemanggilan *system call fork* berhasil digagalkan oleh *worker* karena jumlah proses yang berada dalam lingkungan *sandbox* sudah dibatasi menggunakan *system call setrlimit*.

2. *Worker* berhasil menghentikan program solusi peserta yang berisi *compile bomb* dan memberikan *verdict compile error*. Proses kompilasi kode program solusi peserta menghabiskan banyak memori dan *disk space* sehingga *worker* menghentikan proses kompilasi secara paksa. *Worker* mengetahui penggunaan memori proses kompilasi dengan menggunakan fitur *cgroup* yang ada pada Linux. Dengan mengetahui penggunaan memori dari proses kompilasi, *worker* dapat menghentikan proses kompilasi tersebut secara paksa ketika penggunaan memorinya dinilai sudah berlebihan. Selain itu, *worker* juga menggunakan *system call setrlimit* untuk membatasi ukuran *file* yang dihasilkan oleh proses kompilasi.

3. *Worker* berhasil melindungi komputer yang digunakan sebagai *worker* terhadap program solusi peserta yang mencoba keluar dari lingkungan *sandbox*. Kode yang digunakan untuk melakukan pengujian ini adalah Kode IV.6. Jika serangan tersebut berhasil dilakukan, maka akan tercipta *file breakout* pada direktori */tmp*. Setelah pengujian dilakukan, *file* tersebut tidak ditemukan pada direktori */tmp* sehingga dapat dikatakan serangan yang dilakukan tidak berhasil.

4. *Worker* berhasil menghentikan program solusi peserta yang hanya melakukan *sleep* tanpa menggunakan banyak *resource*. Meskipun program tersebut hanya melakukan *sleep* dan tidak menggunakan CPU secara berlebihan, *worker* dapat menghentikan program tersebut karena terlah membatasi nilai *wall-clock time*

dari program tersebut.

5. *Worker* berhasil menghentikan program solusi peserta yang menggunakan IO secara berlebihan dan menghasilkan *file* yang sangat besar. Hal ini dicapai oleh *worker* dengan memanfaatkan *system call setrlimit* yang ada pada Linux. Dengan menggunakan *setrlimit*, ukuran *file* yang dapat dibuat oleh sebuah proses pada Linux dapat dibatasi.

Berdasarkan hasil pengujian pada paragraf sebelumnya, tidak ditemukan adanya kerusakan maupun efek samping yang muncul pada sistem *online judge* maupun *worker*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa serangan yang dilakukan oleh peserta tidak berhasil merusak sistem *online judge* maupun *worker*. Oleh karena itu, dapat dikatakan sistem *online judge* yang dibangun pada tugas akhir ini lolos uji keamanan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini diberikan kesimpulan dari tugas akhir dan saran pengembangan kebih lanjut terhadap solusi yang sudah dipaparkan.

V.1 Simpulan

Pada tugas akhir ini telah diciptakan sistem *online judge* yang bernama UGrade. UGrade memanfaatkan komputer pengguna untuk menjadi *worker* dalam melakukan penilaian jawaban peserta kompetisi. Berdasarkan hasil pengujian, UGrade memiliki kinerja penilaian jawaban peserta yang lebih tinggi dibandingkan sistem *online judge* yang saat ini populer digunakan. Pada sistem *online judge* UGrade, kinerja dari proses penilaian jawaban peserta dipengaruhi oleh nilai *grading size* yang digunakan dalam kompetisi. Nilai *grading size* yang tinggi akan mengurangi kinerja dari proses penilaian, akan tetapi dapat meningkatkan keamanan sistem. Begitu juga sebaliknya, nilai *grading size* yang rendah meningkatkan kinerja penilaian, akan tetapi dapat mengurangi keamanan sistem. Juri perlu mengatur nilai *grading size* sehingga proses penilaian cukup aman dan memiliki kinerja yang tinggi.

Dalam kompetisi *competitive programming*, peserta mungkin saja melakukan serangan yang mengakibatkan kerusakan pada sistem *online judge*. Keamanan dari sistem *online judge* yang dibangun perlu diuji untuk menentukan ketahanannya terhadap serangan dari peserta. Pengujian terhadap serangan yang mungkin dilakukan oleh peserta dilakukan dengan mengirimkan jawaban yang bebahaya kepada sistem yang dibangun. Keamanan dari UGrade ditentukan berdasarkan adanya efek samping yang muncul ketika jawaban peserta dinilai. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, tidak ada efek samping yang muncul setelah jawaban peserta yang berbahaya dinilai. Oleh karena itu, sistem UGrade dapat dikatakan cukup aman untuk digunakan dalam kompetisi *competitive programming*.

Kebenaran dari sistem *online judge* UGrade diuji dengan mengirimkan beberapa jenis jawaban secara berulang-ulang kepada sistem. Kebenaran dari sistem UGrade ditentukan berdasarkan *verdict* yang diberikan oleh sistem terhadap jawaban-jawaban tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan tujuh jenis jawaban yang berbeda. Berdasarkan hasil pengujian, UGrade memberikan *verdict* yang benar kepada seluruh jawaban yang dikirimkan oleh peserta.

Sistem *online judge* UGrade masih belum dapat menangani serangan yang berupa *reverse engineering*. Peserta yang memiliki akses *root* dari komputer yang digunakannya dapat melakukan serangan terhadap sistem dengan mengubah kode program *autograder* dari UGrade. Meskipun begitu, untuk beberapa jenis kompetisi *competitive programming*, serangan ini dapat diatasi dengan tidak memberikan akses *root* kepada peserta. Kompetisi ACM-ICPC merupakan salah satu jenis kompetisi yang dapat bertahan dari serangan *reverse engineering*.

Pada kompetisi ACM-ICPC, peserta umumnya akan diseleksi terlebih dahulu secara bertingkat sebelum akhirnya berkompetisi di *world final*. Sebelum babak *world final*, jumlah peserta yang mengikuti kompetisi relatif sedikit sehingga sistem *online judge* yang saat ini sering digunakan cukup untuk menjalankan kompetisi tersebut. Pada *world final*, jumlah peserta kompetisi menjadi sangat banyak karena terdiri dari peserta-peserta yang lolos dari berbagai negara. Pada *world final*, juri akan memberikan komputer khusus kepada peserta untuk mengikuti kompetisi tersebuti. Pada babak *world final*, juri dapat menggunakan sistem *online judge* UGrade untuk menilai jawaban peserta. Juri dapat mengatur agar peserta tidak mendapatkan akses *root* pada komputer yang digunakannya sehingga tidak dapat melakukan berbagai jenis serangan yang berupa *reverse engineering*.

Teknik *load balancing* yang digunakan oleh UGrade mengikuti teknik *load balancing* yang digunakan oleh sistem *online judge* yang saat ini populer digunakan yaitu *pull-based load balancing*. Teknik *load balancing* ini ternyata tidak terlalu baik digunakan jika jumlah *worker* sangat banyak. *Worker* yang banyak mengakibatkan banyaknya *request* yang harus ditangani oleh *server* sehingga *server* menjadi mudah gagal. Hal ini tidak ditemukan pada sistem *online judge* yang saat ini populer digunakan. Hal tersebut dikarenakan umumnya sistem *online judge* yang saat ini populer digunakan tidak menggunakan banyak *worker* untuk melakukan penilaian.

Sistem *sandbox* yang digunakan pada UGrade dibangun dengan bahasa Go dan diberi nama UGSbox. Saat ini, UGSbox dapat memberikan isolasi yang cukup baik untuk mengeksekusi program yang dikirimkan oleh peserta. Meskipun begitu, masih terdapat beberapa kekurangan pada UGSbox karena dibangun dengan bahasa Go. Salah

satu kekurangan UGSbox adalah tidak bisa membatasi jumlah proses yang diciptakan oleh proses yang diisolasi secara akurat. Hal ini disebabkan bahasa Go memiliki *runtime* yang perlu dijalankan sebagai proses tersendiri sehingga UGSbox sulit untuk membatasi jumlah proses yang harus diisolasi. Selain itu, *resource* yang digunakan oleh *go runtime* juga ikut dihitung dalam membatasi *resource* proses yang diisolasi. Hal tersebut mengakibatkan pembatasan *resource* yang digunakan oleh proses yang diisolasi menjadi kurang akurat.

V.2 Saran

Terdapat beberapa kekurangan pada pengerjaan tugas akhir ini. Berikut beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengerjaan tugas akhir ini:

1. Pemilihan teknik penilaian membutuhkan adanya studi lebih lanjut. Jika banyak peserta melakukan serangan terhadap sistem, *self grading* dapat mengurangi risiko terjadinya kerusakan sistem. Sistem *online judge* dapat dibuat untuk mudah dikonfigurasi (*configurable*) sehingga dapat menggunakan beberapa jenis sistem penilaian.
2. *UGDesktop* berukuran sangat besar karena mengguna *framework* React dan Electron. Aplikasi *desktop* dapat dibuat lebih *native* dengan menggunakan *library* seperti GTK.
3. Pemilihan *framework* Django untuk bertindak sebagai *server* tidak dapat menangani banyaknya pengguna dengan efisien. Bahasa Go dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja dari *server*.
4. Karena setiap peserta berperan sebagai *worker*, jumlah *request* yang perlu ditangani oleh UGServer sangat banyak dan memberatkan UGServer. Hal tersebut dikarenakan metode yang digunakan untuk *load balancing* adalah *pull-based load balancing* sehingga setiap *worker* terus menerus mengirim *request* kepada *server*. Metode *load balancing* perlu dimodifikasi sehingga beban *server* dapat berkurang.
5. Penggunaan bahasa Go untuk mengembangkan lingkungan *sandbox* kurang efektif. Bahasa Go sulit untuk melakukan *system call fork* dan *exec* secara terpisah karena adanya *go runtime* yang perlu dijalankan. *Sandbox* dapat dikembangkan dengan bahasa yang lebih *low-level* seperti C, C++ atau Rust.
6. Penggunaan istilah *grading group*, *grading size*, *grading* dan *grader group* sulit dipahami. Penggunaan nama yang mirip sebaiknya dihindari dengan memilih

nama yang lebih deskriptif dan tidak terlalu mirip.

7. Bahasa yang didukung oleh *UGrade* masih terbatas C dan C++. *UGrade* perlu memberikan dukungan terhadap bahasa Pascal, Python dan Java karena bahasa tersebut sering digunakan pada kompetisi *competitive programming*.

DAFTAR PUSTAKA

Bez, J. L., N. A. Tonin, & P. R. Rodegheri (Agustus 2014). "URI Online Judge Academic: A tool for algorithms and programming classes". In: *2014 9th International Conference on Computer Science Education*, pp. 149–152. DOI: 10.1109/ICCSE.2014.6926445.

Danutama, Karol & Inggriani Liem (2013). "Scalable Autograder and LMS Integration". In: *Procedia Technology* 11. 4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI 2013, pp. 388–395. ISSN: 2212-0173. DOI: https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.207.

Felter, W. et al. (Mar. 2015). "An updated performance comparison of virtual machines and Linux containers". In: *2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, pp. 171–172. DOI: 10.1109/ISPASS.2015.7095802.

Fernando, Jordan & Inggriani Liem (2014). "Components and Architectural Design of an Autograder System Family". In:

Halim, S. & F. Halim (2013). *Competitive Programming*.

ICPC Foundation (2018a). *ICPC Fact Sheet*. URL: https://icpc.baylor.edu/worldfinals/pdf/Factsheet.pdf.

— (2018b). *World Finals Rules for 2019*. URL: https://icpc.baylor.edu/worldfinals/rules.

IOI Organization (2017a). *IOI 2017 Contest Rules*. URL: http://ioi2017.org/contest/rules/.

— (2017b). *Organization*. URL: https://ioinformatics.org/page/organization/4.

Merkel, Dirk (Mar. 2014). "Docker: Lightweight Linux Containers for Consistent Development and Deployment". In: *Linux J.* 2014.239. ISSN: 1075-3583. URL: http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2600239.2600241.

Mirzayanov, M. (2011). *Codeforces Contest Rules*. URL: http://codeforces.com/blog/entry/4088.

P., Lessard (2003). "InfoSec reading room report: Linux process containment - a practical Look at chroot and user mode Linux". In:

Stevenson, J. (Sept. 2018). *MDN WebAssembly*. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/WebAssembly.

Wasik, Szymon et al. (2018). "A Survey on Online Judge Systems and Their Applications". In: *ACM Comput. Surv.* 51.1, 3:1–3:34. ISSN: 0360-0300. DOI: 10.1145/3143560. URL: http://doi.acm.org/10.1145/3143560.