

Tugas Besar 1

IF3230 - Sistem Paralel dan Terdistribusi

"[ni]Sekai - part 0x1 of □◆"

OpenMP dan OpenMPI

Dipersiapkan oleh:

Asisten Lab Sistem Terdistribusi

Didukung oleh:



Waktu Mulai :

Jum'at, 25 Februari 2022, 14.00 WIB

Waktu Akhir :

Minggu, 6 Maret 2022, 23.55 WIB

Latar Belakang

“Ko❖□i❖i❖□, ❖?❖a□!”

Aku pernah mendengar kalimat ini sebelumnya.

Sebuah kalimat yang membangkitkan suatu kenangan pahit.

Kenangan yang tentunya tidak ingin aku lupakan namun tidak ingin aku ingat juga.

Hal ini senantiasa membuatku bertanya akan apa yang telah terjadi sebelumnya.

Apakah ini hanyalah gangguan semata, atau ada suatu makna yang tidak aku pahami.

Apakah waktu akhirnya akan menjelaskan?

Sebuah delusi atas sebuah visi...

Aku terbangun dengan dahi bercucur keringat. Sebuah pertanda bahwa tidurku tidaklah nyenyak. Umumnya ini adalah pertanda bahwa aku sedang bertarung dengan suatu penyakit yang sedang aku idap. Sering terjadi saat aku mengalami demam tinggi. Seringnya saat aku terbangun, demam itu sudah perlahan turun dan pikiranku sudah mulai jernih kembali.

Namun aku tidak sedang demam. Tubuhku juga dalam kondisi sehat. Tidak ada tanda-tanda penyakit fisik yang aku idap. Setiap harinya aku bisa berjalan, berlari, melakukan aktivitas fisik seperti biasa, dan berlagak bagaikan segalanya normal-normal saja.

Terkadang terlalu normal.

Saking normalnya, segalanya menjadi aneh.

Aku semakin tidak yakin apakah aku yang aneh, atau memang ada yang aneh dengan sekelilingku.

Aku menyembunyikan hal ini dari orang-orang di sekelilingku. Bukan berarti aku takut dengan respon ataupun reaksi mereka, hanyalah aku yang tidak ingin menambah beban pikiran tambahan. Terkadang bersosialisasi dan membeberkan segala hal yang aku pikirkan itu melelahkan. Terkadang aku hanya ingin sendiri dalam duniaku sendiri. Sepertinya inilah yang mereka bilang sebagai “antisosial”.

Mungkin aku saja yang terlalu paranoid. Seringkali aku mendapat saran untuk lebih terbuka dan lebih percaya diri. Mereka bilang bahwa pemikiran yang berbeda dan beragam adalah suatu katalis untuk perkembangan ilmu pengetahuan. Hal itu tidaklah salah, mengingat kita sudah bertahan sebagai suatu ras setelah melewati masa-masa kelam yang diakibatkan oleh perselisihan. Sekarang pun kita masih dihujam dengan badai perselisihan. Terkadang penyebab perselisihan adalah hal-hal sepele yang dibesar-besarkan oleh ego setiap insan.

Tapi suatu pemikiran yang terlalu berbeda akan cenderung membuat seluruh pihak berdiri dihadapanmu, memilih posisi yang nyaman untuk mengatakan "Kamu salah". Hal itu tidaklah aneh, mengingat suatu pemikiran atau opini juga mengikuti sistem popularitas. Suatu opini yang tidak populer akan cenderung mendapat banyak kecaman.

"Hei..."

"Apakah kamu yakin kalau kita ini... hidup?"

Sebuah pertanyaan yang aneh. Siapapun yang waras pasti akan tertawa lalu menjawab bahwa kita tentu masih hidup. Toh, kita masih bisa berbicara dan melakukan hal-hal. Sebagian mungkin akan berpikir ke arah filosofis dan mempertanyakan definisi. "Apakah maksudmu arti dari menjadi hidup?", "Maksudmu dengan 'hidup' adalah dengan 'menikmati kondisi dan setiap kesempatan yang ada?'", dan respon tingkat lanjut seperti "Kamu gila ya?". Tentunya, jawaban lanjutan setiap orang berbeda-beda.

Umumnya aku tidak terlalu mempermasalahkan hal ini. Sejatinya aku hanyalah seorang mahasiswa yang ingin segalanya berlalu dengan damai. Walaupun definisi dari kedamaian cukup sulit untuk didefinisikan, mengingat segala "badai" yang berada pada tempat ini. Aku hanya ingin kuliah, mengikuti kelas, mengerjakan tugas walaupun aku membencinya, dan istirahat.

Seakan-akan aku hanya diprogram untuk itu saja.

Tentu saja, aku masih memiliki hal lain untuk dikerjakan. Sesekali aku mencoba untuk bersosialisasi, bermalas-malasan, dan keluar dari rutinitas ini. Orang-orang menganggap bahwa ini adalah suatu hal yang tidak normal.

"Sebagai seorang mahasiswa, tidak ada hal lain yang seharusnya kamu kerjakan selain belajar dan mendapatkan istirahat yang cukup", begitulah kata salah satu dosenku. Suatu pendapat ahli yang diteladani oleh banyak mahasiswa lain.

Suatu pendapat yang... aneh.

Suatu pemikiran yang tidak normal akan memberimu label sebagai orang yang aneh. Pada beberapa kasus juga akan membuat orang-orang sekitar menjadi waspada. Umumnya pemikiran yang menyimpang akan membuat orang-orang mengecapmu sebagai orang yang menyimpang juga. Karena inilah aku tidak ingin bertanya hal-hal aneh lagi ke orang lain.

Namun, ada kondisi aneh yang selalu aku alami saat memikirkan hal tersebut. Sakit kepala? Ya. Sakit perut? Juga. Cemas dan panik? Tentu saja. Suatu gejala yang sering disangkutkan dengan stres. Padahal aku tidak memiliki suatu beban yang berlebih. Semuanya berjalan dengan cukup normal dan teratur sehingga aku berhasil menghilangkan mayoritas beban karena salah manajemen diri.

"?ua d?i ?ni in!1!#:%^?"

Sebuah kalimat yang diikuti dengan suara dengungan hebat. Setelah itu aku terkapar sambil menutup telinga. Teman-temanku seakan sudah terbiasa dengan kejadian ini, bahkan perawat yang menangani sudah tidak perlu bertanya banyak lagi. Masih tidak ada yang bisa mendiagnosis apa yang sebenarnya terjadi pada diriku.

Aku juga tidak tau apa isi dari kalimat itu. Kalimat yang senantiasa terngiang-ngiang, seakan ada yang memberi pesan. Seakan-akan ada yang berusaha untuk disampaikan.

"Oke, sekarang, bisakah kamu menjelaskan semuanya?".

Perawat itu menanyakan pertanyaan yang aneh. Memang apa yang perlu aku jelaskan lagi? Harusnya dia juga sudah mengerti dengan kondisiku. Kondisi yang tidak jelas ini.

"Aku pikir kamu punya sesuatu yang kamu sembunyikan.", desak perawat itu lagi. Aku bingung dengan pertanyaan itu. Apa maksudnya dengan sesuatu yang aku sembunyikan? Aku tidak melakukan penyelundupan ataupun bekerja sama dengan kelompok kriminal. Aku benar-benar hanyalah orang biasa yang ingin hidup biasa saja.

"Tolong jangan bertanya yang aneh-aneh. Ini hanyalah sakit kepala dan sakit perut serta kondisi-kondisi aneh lainnya. Tidak ada yang aneh dariku."

"Tidak ada yang aneh? Bukannya perkataanmu cukup berkebalikan dari kalimatmu sebelumnya?"

"Uh... iya, tapi, dengan pengecualian atas hal tersebut, tidak ada hal aneh-aneh yang aku coba sembunyikan."

Situasi yang tidak menyenangkan. Sebelumnya tidak ada yang terjadi pada setiap kunjungan ke klinik ini. Perawat itu umumnya hanya langsung bertanya kondisiku, melakukan pemeriksaan, lalu memberi obat penenang dan sakit perut. Namun sekarang aku dicurigai dan ditanyai hal-hal yang tidak mengenakan. Mungkin aku akan pindah klinik setelah ini.

"Tolonglah, ini demi dirimu juga. Tidak ada perkembangan yang berarti semenjak pertama kali kamu datang. Tolong beri tahu aku agar aku bisa menolongmu."

"...brisik"

"...apa?"

"BERISIK!"

Aku teriak dan keluar dari klinik tersebut.

Aneh.

Kenapa aku tidak terus terang saja? Seorang perawat pastinya akan toleran dan ingin mendengarkan apa kata pasiennya. Mengapa aku terlalu takut dengan reaksinya?

Aku berlari keluar, lalu ada suara klakson besar.

Suatu padang yang luas yang dipenuhi bunga-bunga yang bermekaran. Rumputnya hijau segar yang menari mengikuti angin sepoi-sepoi. Terdapat beberapa pilar yang berdiri kokoh ke langit dengan tinggi yang tak terkira, seakan mencoba mencapai sisi lain di balik langit biru. Langit biru yang ditemani awan tipis dan burung-burung sibuk.

"Apakah aku sudah mati?", gumam diriku. Suatu pertanyaan yang pantas untuk ditanyakan. Pemandangan ini hanyalah terlalu indah untuk seseorang yang hidup sebagai mahasiswa di suatu kota yang penuh dengan rutinitas yang monoton.

Hal ini terlalu klise, seperti cerita-cerita dengan genre *isekai* yang pernah aku baca. Tentu terdengar seperti deskripsi dari suatu dunia fantasi, di mana ada raja iblis dan pahlawan. Mengikuti pola yang sudah ada, harusnya aku yang akan menjadi pahlawan dan protagonis dari cerita ini.

Ini terlalu klise.

Ini aneh.

Tentu saja.

beep

beep

beep

Suara aneh. Suara yang cukup familiar. Kepalaku terasa sangat sakit. Semakin lama rasanya semakin pusing. Sekarang bukan hanya kepalaku saja, sekujur tubuhku terasa sakit. Apa yang terjadi?

Aku merasa digerakkan dengan cepat menuju suatu tempat. Cahaya melewati wajahku secara berkala. Apakah aku berada di suatu ruangan? Apa yang terjadi.

Aku perlahan membuka kelopak mataku. Seluruhnya terlihat silau. Apa yang sebenarnya terjadi?

"Dia sadar."

Iya, aku sudah sadar. Siapa ini? Seketika mataku dipenuhi cahaya silau.

"Respon iris lancar. Tidak ada gangguan pada penglihatannya."

Cahaya terang itu menghilang. Perlahan aku bisa melihat hal-hal di sekelilingku. Aku melihat banyak pintu melewatiku, seakan aku sedang dibawa melewati suatu koridor panjang. Orang-orang menggunakan jas berwarna putih. Suatu pemandangan yang umum untuk sebuah rumah sakit.

Ah iya, aku ingat. Aku berlari keluar dari klinik. Suara klakson besar menghampiriku, lalu segalanya menjadi hitam. "Aku ditabrak ya..."

Aku termenung sejenak, menutup mata dan memikirkan apakah ini adalah suatu bentuk karma. Apa salahku? Mengapa aku saja yang terlihat berbeda dari yang lain?

Saat aku membuka mataku, tiba-tiba beberapa pandanganku berubah menjadi angka. Angka-angka aneh, memenuhi suatu bagian dari pandanganku. Angka-angka ini terlihat seperti... matriks?

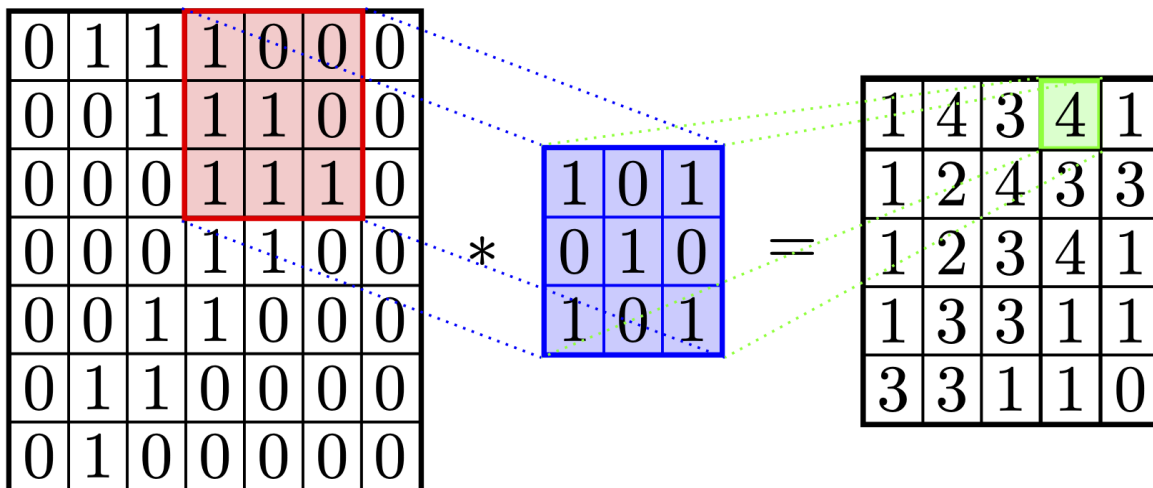
Aku tidak tau apa ini, tapi sepertinya mulai saat ini, kehidupanku tidak akan sama seperti dulu kembali.

Deskripsi Tugas

Konvolusi Matriks

Operasi konvolusi matriks adalah operasi biner yang melibatkan matriks kernel dan matriks input. Matriks kernel memiliki dimensi $a \times b$ dan matriks input memiliki dimensi $c \times d$, dengan $a \leq c$ dan $b \leq d$. Hasil dari konvolusi adalah matriks hasil dengan dimensi $(c - a + 1) \times (d - b + 1)$. Setiap elemen matriks hasil h_{ij} merupakan nilai dari operasi perkalian khusus. Sebut elemen matriks input sebagai u_{ij} dan elemen matriks kernel sebagai k_{ij} . Sebagai konvensi, notasi indeks baris dan kolom dimulai dari 1 dan dihitung dari pojok kiri atas.

Perumpamaan dari operasi perkalian khusus tersebut adalah “penindihan” matriks kernel ke matriks input di satu posisi tertentu. Pada Gambar 1, matriks kernel diilustrasikan dengan warna biru, dan daerah merah merupakan posisi penindihan matriks kernel di matriks input. Posisi penindihan tidak pernah *out of bonds*, yaitu daerah penindihan tidak pernah keluar dari daerah matriks input.



Gambar 1 Visualisasi Operasi Konvolusi Matriks

sumber: <https://tex.stackexchange.com/questions/522118/visualizing-matrix-convolution>

Catatan: Sel (5, 1) seharusnya bernilai 2, bukan 3. Abaikan kesalahan gambar

Pada setiap penindihan, setiap sel dari matriks kernel dan matriks input yang bersesuaian akan dikalikan dan disimpan sebagai satu nilai intermediet. Setelah semua sel yang bersesuaian telah dikalikan, semua nilai intermediet akan dijumlahkan untuk disimpan sebagai elemen matriks hasil konvolusi.

Maka h_{ij} merupakan hasil jumlah semua nilai intermediet dari posisi penindihan dimana u_{ij} bersesuaian dengan k_{11} .

Spesifikasi Program

Tugas Anda adalah membuat program paralel yang menerima satu matriks kernel dan **n** buah matriks masukan. Program akan melakukan operasi konvolusi matriks pada matriks kernel dan setiap matriks masukan untuk menghasilkan matriks hasil konvolusi. Setelah itu, program Anda akan membuat **n** bilangan bulat positif yang merupakan selisih elemen terbesar dan terkecil dari setiap matriks hasil konvolusi, serta melakukan *sorting* dari **n** bilangan tersebut.

Keluaran program Anda adalah nilai maksimum, nilai minimum, median, dan rata-rata **n** bilangan tersebut. Nilai median dan rata-rata dihitung menggunakan *integer division* untuk pembulatan.

Berikut format masukan dan keluaran dari program (baris yang dimulai dengan pagar '#' hanyalah keterangan, bukan termasuk masukan)

Contoh Input

```
# size matrix kernel (baris kolom)
2 2
# matrix kernel
1 0
0 -1
# banyak matriks masukan, baris, dan kolom matriks masukan
# dijamin baris matriks >= baris matriks kernel & kolom matriks >= kolom
matriks kernel
3 3 3
# matrix 1
1 1 0
1 0 1
11 -1 1
# matrix 2
2 12 2
2 2 -2
2 21 2
# matrix 3
30 -1 3
3 30 -3
-31 10 -9
```

Contoh Output

```
# nilai minimal
2
# nilai maksimal
46
```

```
# nilai median hasil integer division
33
# nilai rata-rata hasil integer division
27
```

Berikut ini disediakan kode serial pada file **serial.c** pada [drive ini](#) untuk menjadi *baseline* pengerjaan (menguji kebenaran dan kinerja kode paralel yang dibuat) dan membantu untuk memahami persoalan lebih jauh.

Skema Paralelisasi

Berikut ini adalah skema paralelisasi yang perlu diimplementasikan dalam pengerjaan tugas besar kali ini:

1. Program menerima input sesuai dengan format diatas.
2. Tiap matriks yang diterima dari input akan dilakukan tahapan berikut:
 - a. Matriks didistribusikan ke setiap mesin dengan menggunakan **OpenMPI**.
 - b. Tiap mesin tersebut melakukan operasi konvolusi yang dibuat paralel menggunakan **OpenMP** untuk masing-masing matriks yang diterima.
 - c. Setelah dilakukan konvolusi, cari selisih dari nilai terbesar dan terkecil dari masing-masing hasil konvolusi tersebut menggunakan **OpenMP**.
 - d. Hasil selisih konvolusi disatukan kembali ke satu mesin dalam bentuk *array of integer* yang terurut untuk pencarian statistik. Proses *sorting* dilakukan menggunakan **OpenMPI**.
3. Buat ringkasan (*summary*) dari *array* yang sudah terurut tersebut, yang memuat nilai minimal, maksimal, median, dan rata-rata (nilai median dan rata-rata dihitung menggunakan *integer division* untuk pembulatan). Format lebih lengkap dapat dilihat pada contoh di kode **serial.c**.

Contoh program sederhana yang menggunakan paralelisasi hybrid/multi-level OpenMP dan OpenMPI dapat dilihat pada file **test.c** pada [drive ini](#).

Deliverables

1. Pengerjaan tugas dilakukan **berkelompok** dengan masing-masing kelompok **maksimal 3 orang** dari **kelas yang sama**. Apabila jumlah anggota kelas tidak dapat dibagi 3, maka diperbolehkan satu atau dua kelompok memiliki 4 anggota (baca ketentuan lebih lanjut di sheets). Isi anggota kelompok pada [sheet berikut](#) paling lambat **20.22 WIB 27 Februari 2022**.
2. Pengerjaan tugas dilakukan dengan membuat *repository* pada [Gitlab Informatika](#). Pastikan bahwa project visibility repository kelompok Anda diatur menjadi **private**. Namun untuk mengatasi Gitlab Informatika yang kerap tidak dapat diakses, buat *repository backup* pengerjaan di Github.
3. Invite semua asisten ke dalam *repository* kelompok Anda sebagai **reporter**. Berikut ini adalah username Gitlab Informatika dari asisten: **prima.yoriko, masterraf21, naufal-dean, arung-agamani, nisaprmst, mufrawid, haverzard, fraglantia**
4. Gunakan server yang disediakan untuk melakukan tes kode OpenMPI dan OpenMP yang telah dibuat. Cara mengakses server adalah dengan menggunakan kunci yang akan dibagikan. Silakan akses salah satu dari server berikut dengan menggunakan SSH. *Username* yang digunakan adalah "**kXX-YY**" dengan **XX** diisi 2 digit nomor kelas (01-04) dan **YY** diisi 2 digit nomor kelompok (pada kolom **No Kel**) pada *sheets* kelompok.

IP Publik	IP Privat	DNS
35.240.188.57	10.148.0.22	imouto1.sister.howlingmoon.dev
34.87.108.45	10.148.0.23	imouto2.sister.howlingmoon.dev
34.124.168.121	10.148.0.21	imouto3.sister.howlingmoon.dev
35.198.245.105	10.148.0.20	imouto4.sister.howlingmoon.dev

IP publik digunakan untuk menyambungkan dari komputer masing-masing ke server. Sedangkan IP privat digunakan untuk komunikasi antara server.

Untuk melakukan pengujian dapat mengikuti langkah berikut:

- Lakukan SSH ke semua server dengan IP privat. Jika ini gagal, harap hubungi asisten. Untuk key SSH tiap kelompok, dapat diakses pada [drive ini](#).

- Buat [file hostname](#) dengan isi semua IP privat dipisahkan dengan *newline*.
- Program di-*compile* menggunakan [mpicc](#) dengan flag `--openmp`
- *Executable* perlu disalin ke semua server (misal menggunakan utilitas [scp](#))
- Jalankan kode dengan [mpirun](#)

Note: Server akan di-*provision* untuk digunakan mulai **Senin, 28 Februari 2022**. Sebelum tanggal tersebut, Anda dapat menggunakan *environment* lokal untuk menguji kode yang dibuat.

Apabila Anda menggunakan WSL untuk melakukan SSH ke server, berikan *permission* untuk SSH key yang diberikan terlebih dahulu dengan *permission*:

- 644 untuk `id_rsa`
- 600 untuk `id_rsa.pub`

Selain itu, harap untuk menyimpan SSH *key* anda pada *directory* WSL Anda (`/home/[username]/`) ketimbang pada *directory* Windows Anda (`/mnt/[drive letter]/[apalah]/**/*`), karena penetapan *permission* ala Linux hanya bisa dilakukan pada *filesystem* Linux (dalam direktori WSL)

5. File dan folder yang perlu ada di dalam *repository* adalah sebagai berikut:

- Folder `src` yang berisi kode program
- File `README.md` yang berisi penjelasan mengenai program yang dibuat termasuk logika atau ide dari paralelisasinya
- Folder `result` yang berisi file `.txt` hasil eksekusi dari tiap *test case* yang diberi nama dengan `<nama_tc>_<serial/paralel>.txt`

6. Hasil pekerjaan yang dinilai adalah hasil dari *commit* terakhir sebelum *deadline*.

7. Pada `README` dari *repository* kode, tuliskan analisis terhadap beberapa pertanyaan berikut:

1. Jelaskan cara kerja program Anda, terutama pada paralelisasi yang Anda implementasikan berdasarkan skema di atas.
2. Dari waktu eksekusi terbaik program paralel Anda, bandingkan dengan waktu eksekusi program sekuensial yang diberikan. Analisis mengapa waktu eksekusi program Anda bisa lebih lambat / lebih cepat / sama saja.

3. Jelaskan secara singkat apakah ada perbedaan antara hasil program serial dan program paralel Anda.
4. Variasikan jumlah *node* OpenMPI yang berpartisipasi dan jumlah *thread* OpenMP yang digunakan. Gunakan percobaan-percobaan dengan parameter berikut:

No	Node OpenMPI	Thread OpenMP
1	2	5
2	2	16
3	3	5
4	3	16
5	4	5
6	4	16

Analisis waktu eksekusi dari percobaan-percobaan yang dilakukan. Lalu simpulkan bagaimana OpenMP dan OpenMPI memengaruhi waktu eksekusi program Anda. **Buktikan dengan menunjukkan waktu eksekusi yang diperlukan saat demo.**

8. Demo tugas besar dapat dilakukan secara **Live**, **Asinkron**, atau **Hybrid**, yang bergantung pada asisten yang Anda pilih di *sheets* kelompok:
 - Apabila mendapatkan asisten dengan skema demo **Live**, maka Anda harus melakukan demo secara langsung di depan asisten.
 - Apabila mendapatkan asisten dengan skema demo **Hybrid**, maka secara *default* Anda harus melakukan demo secara asinkron. Namun apabila Anda ingin melakukan demo secara *live*, Anda bisa mengisi jadwal yang diberikan asisten.
 - Apabila mendapatkan asisten dengan skema demo **Asinkron**, maka Anda harus melakukan demo dengan membuat video yang dikumpulkan di pranala berikut. Pastikan **kursor dan tulisan yang Anda tampilkan jelas di dalam video**. Maksimal durasi video adalah 15 menit. Video **tidak boleh diedit, harus one take**.

Skema Demo

Skema demo setiap asisten akan diberikan setelah *deadline* pengisian kelompok. Berikut merupakan tata cara demo Tugas Besar 1:

1. Sebelum memulai, jalankan perintah **git status** dan **git log**. Tidak menjalankan kedua perintah ini dapat berakibat tugas **tidak dinilai**.
2. Pengujian menggunakan *test case* yang diberikan per kelompok. Mohon diperhatikan bahwa setiap kelompok mempunyai *test case* yang berbeda.

Uji *test case* yang digunakan diletakkan pada [drive ini](#). Pengujian dilakukan dengan mengeksekusi kode *baseline* (serial) dan yang dibuat (paralel) dengan menggunakan server yang disediakan. *Test case* yang diuji terdiri atas 4 *test case* yang sesuai dengan nomor kelompok Anda di sheet kelompok.

File *test case* yang sama juga dapat diakses pada *cloud bucket* dengan URI **gs://sister-uwu/tc/TCZ/KXX-YY-TCZ** dengan **Z** adalah nomor test case (1-4), **XX** adalah 2 digit nomor kelas (01-04), dan **YY** adalah 2 digit nomor kelompok. Untuk pengambilan file pada server, dapat digunakan command [gsutil cp](#).

Contoh: **gsutil cp gs://sister-uwu/tc/TC4/K02-09-TC4 .**

3. Tunjukkan hasil eksekusi program paralel Anda dan bandingkan dengan hasil eksekusi dari program serial.
 4. Bandingkan waktu eksekusi program Anda (paralel) dengan waktu eksekusi program serial, yang formatnya dibebaskan sesuai dengan Deliverables poin 7.3.
-
9. **Segala kecurangan yang dideteksi baik disengaja maupun tidak disengaja akan ditindaklanjuti oleh asisten sesuai dengan aturan akademik ITB.**
 10. **Segala bentuk penyalahgunaan dan *abusive usage* pada server akan ditindaklanjuti dengan serius.**
 11. Apabila ada pertanyaan lebih lanjut (jangan takut bertanya, malu bertanya sesat di jalan), silakan tanya ke <https://s.id/qna-prak>. Status server juga dapat dilihat pada *sheet* tersebut.