Struktur Data dan Algoritma

Implementasi ADT: *Stacks & Queues*

Suryana Setiawan, Ruli Manurung & Ade Azurat
(acknowledgments: Denny)

Fasilkom UI

Outline

- ADT Stacks
  - Operasi dasar
  - Contoh kegunaan
  - Implementasi
    - Array-based dan linked list-based
- ADT Queues
  - Operasi dasar
  - Contoh kegunaan
  - Implementasi
    - Array-based dan linked list-based

Tujuan

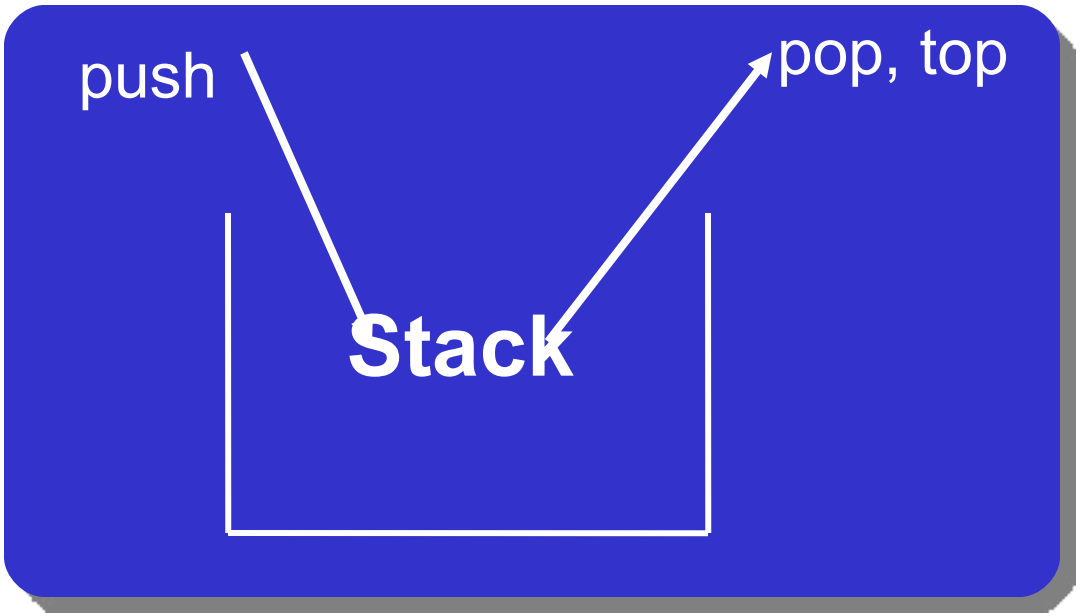
- Memahami cara kerja dan kegunaan stack & queue
- Dapat mengimplementasi stack dan queue

Struktur data linear

- Kumpulan elemen yang tersusun sebagai garis linear
- Stack: struktur data linear di mana penambahan/pengurangan elemen dilakukan di satu ujung saja.
- Queue: struktur data linear di mana penambahan komponen dilakukan di satu ujung, sementara pengurangan dilakukan di ujung lain (yang satu lagi).
- Kedua struktur tersebut merupakan ADT di mana ***implementasi*** pada tingkat lebih rendah dapat sebagai ***list***, baik menggunakan struktur *sequential* (array) atau struktur berkait (linear linked-list).

Stack

- Semua akses dibatasi pada elemen yang paling akhir disisipkan
- Operasi-operasi dasar: **`push, pop, top`**.
- Operasi-operasi dasar memiliki waktu yang konstan



Contoh-contoh di dunia luar komputer

- Tumpukan kertas
- Tumpukan tagihan
- Tumpukan piring

- Waktu $O(1)$ per operasi stack. (Dengan kata lain, waktu konstan per operasi, tidak bergantung berapa banyak item yang tersimpan dalam stack).

Aplikasi-aplikasi

- Stack dapat digunakan untuk memeriksa pasangan tanda kurung (*Balanced Symbol*), pasangan-pasangan seperti `{}`, `()`, `[]`.
- Misalnya: { [( )] } boleh, tapi { ([ )] } tidak boleh (tidak dapat dilakukan dengan penghitungan simbol secara sederhana).
- Sebuah kurung tutup harus merupakan pasangan kurung buka ***yang paling terakhir ditemukan***. Jadi, stack dapat membantu!

Balanced Symbol Algorithm

- Buat stack baru yang kosong.
- Secara berulang baca token-token; jika token adalah:
  - Kurung buka, **push** token ke dalam stack
  - Kurung tutup, maka
    - **If** stack kosong, **then** laporkan **error**;
    - **else** **pop** stack, dan periksa apakah simbol yang di-pop merupakan pasangannya (jika tidak laporkan **error**)
- Di akhir file, jika stack tidak kosong, laporkan **error**.

Contoh

- Input: { ( ) }
  - Push '{'
  - Push '('; lalu stack berisikan '{', '('
  - Pop; popped item adalah '(' yang adalah pasangan dari ')'. Stack sekarang berisikan '{'.
  - Pop; popped item adalah '{' yang adalah pasangan dari '}'.
  - End of file; stack kosong, jadi input benar.

Performance

- Running time adalah $O(N)$, yang mana N adalah jumlah data (jumlah token).
- Algoritma memproses input secara sikuensial, tidak perlu backtrack (mundur).

Call stack

- Kasus *balanced symbol* serupa dengan *method call* dan *method return*, karena saat terjadi suatu method **`return`**, ia kembali ke method aktif yang sebelumnya.
- Hal ini ditangani dengan ***call stack***.
- **Ide dasar**: ketika suatu *method call* terjadi, simpan *current state* dalam stack. Saat *return*, kembalikan state dengan melakukan *pop* stack.

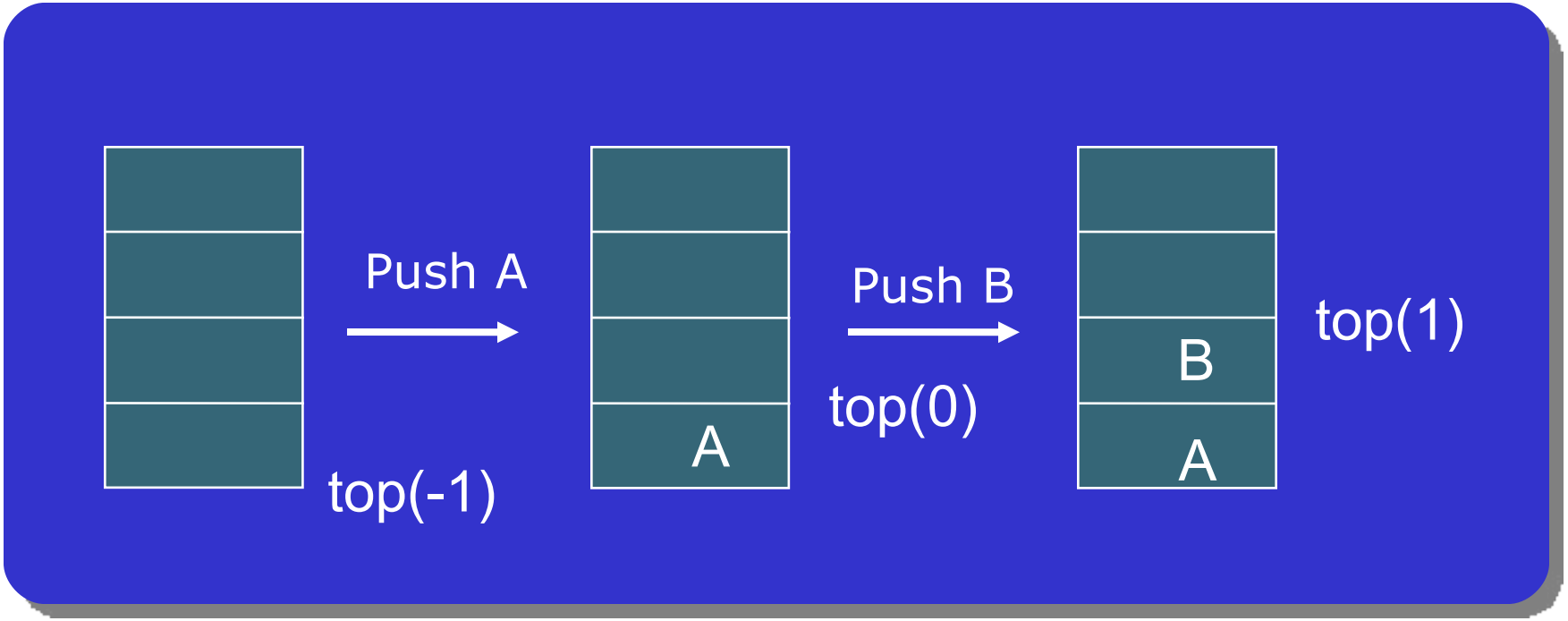
Aplikasi Lainnya

- Mengubah fungsi rekursif menjadi non-rekursif dapat dilakukan dengan stack.
  - Lihat diskusi di forum rekursif mengenai maze runner, coba buat versi non-rekursif dengan bantuan stack.
- *Operator precedence parsing* (di kuliah berikutnya: TBA)
- Pembalikan urutan (*reversing*) dapat dengan mudah dilakukan dengan bantuan stack

Implementasi Array

- Stack dapat diimplementasi dengan suatu array dan suatu integer **top** yang mencatat indeks dalam array dari top of the stack.
- Untuk stack kosong maka **top** berharga **-1**.
- Saat terjadi push, lakukan dengan increment counter **top**, dan tulis ke dalam posisi **top** tsb dalam array.
- Saat terjadi pop, lakukan dengan decrement counter **top**.

Ilustrasi



Pertanyaan:

Apa yang terjadi bila nilai top = ukuran array?

Array Doubling

- Jika stack full (karena semua posisi dalam array sudah terisi), kita dapat memperbesar array, menggunakan *array doubling*.
- Kita mengalokasi sebuah array baru dengan ukuran dua kali lipat semula, dan menyalin isi array yang lama ke yang baru:

```
Benda[] oldArray = array;
array = new Benda[oldArray.length * 2];
for (int j = 0; j < oldArray.length; j++)
    array[j] = oldArray[j];
```

Pertanyaan:

Dengan adanya *array doubling* apakah kompleksitas running time dari operasi push masih O(1)?

```
Benda[] oldArray = array;
array = new Benda[oldArray.length * 2];
for (int j = 0; j < oldArray.length; j++)
    array[j] = oldArray[j];
```

Running Time

- Tanpa adanya array doubling, setiap operasi memiliki waktu konstan, dan tidak bergantung pada jumlah item di dalam stack.
- Dengan adanya array doubling, satu operasi push dapat (namun jarang) menjadi $O(N)$. Namun, pada dasarnya adalah $O(1)$ karena setiap array doubling yang memerlukan N assignments didahului oleh $N/2$ kali push yang non-doubling.
- Teknik ***Amortization*** (akan dipelajari lebih dalam pada kuliah DAA)

Stack Implementation: Array

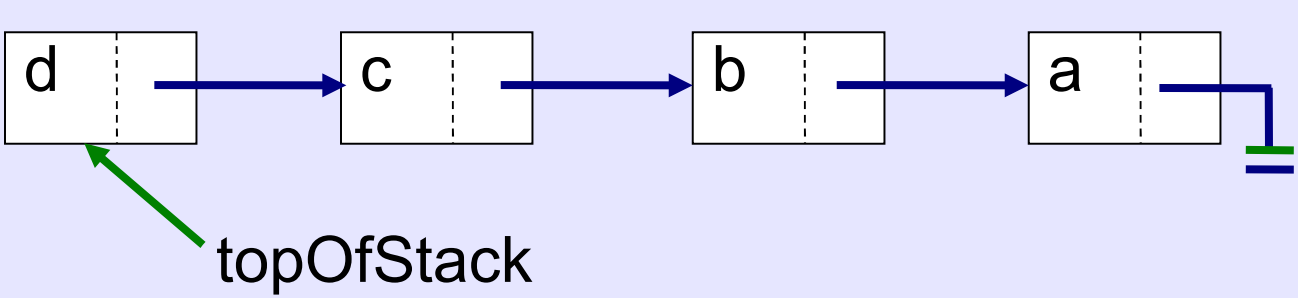
```
public class MyArrayStack<T>
{
    private T[] array;
    private int topOfStack;
    private static final int DEFAULT_CAPACITY = 10;

    public MyArrayStack() …
    public boolean isEmpty() …
    public void makeEmpty() …
    public T top() …
    public void pop() …
    public T topAndPop() …
    public void push(T x) …

    private void doubleArray() …
}
```

Implementasi Linked-List

- Item pertama dalam list: *top of stack* (empty = **`null`**)
- **`push(Benda x)`**:
  - Create sebuah node baru
  - Sisipkan sebagai elemen pertama dalam list
- **`pop()`**:
  - Memajukan **top** ke item kedua dalam list



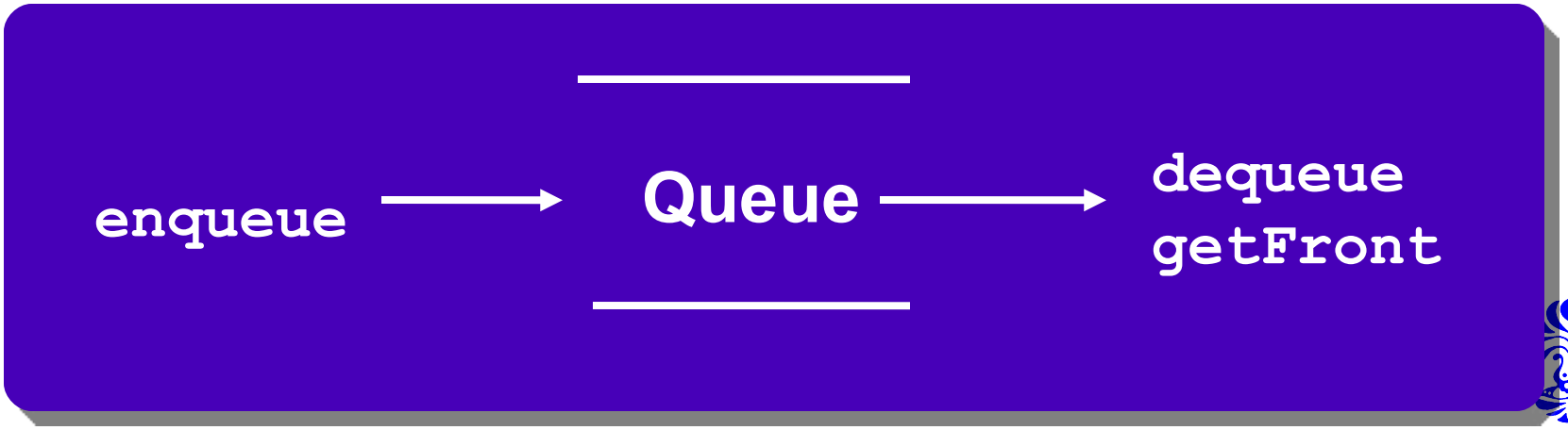
Stack Implementation: Linked List

```
public class MyLinkedListStack<T>
{
    private ListNode<T> topOfStack;

    public MyLinkedListStack() …
    public boolean isEmpty() …
    public void makeEmpty() …
    public T top() …
    public void pop() …
    public T topAndPop() …
    public void push(T x) …
}
```

Queue

- Setiap akses dibatasi ke elemen yang paling terdahulu disisipkan
- Operasi-operasi dasar: **`enqueue`, `dequeue`, `getFront`**.
- Operasi-operasi dengan waktu konstan. Waktu operasi yang $O(1)$ karena mirip dengan stack.



Contoh:

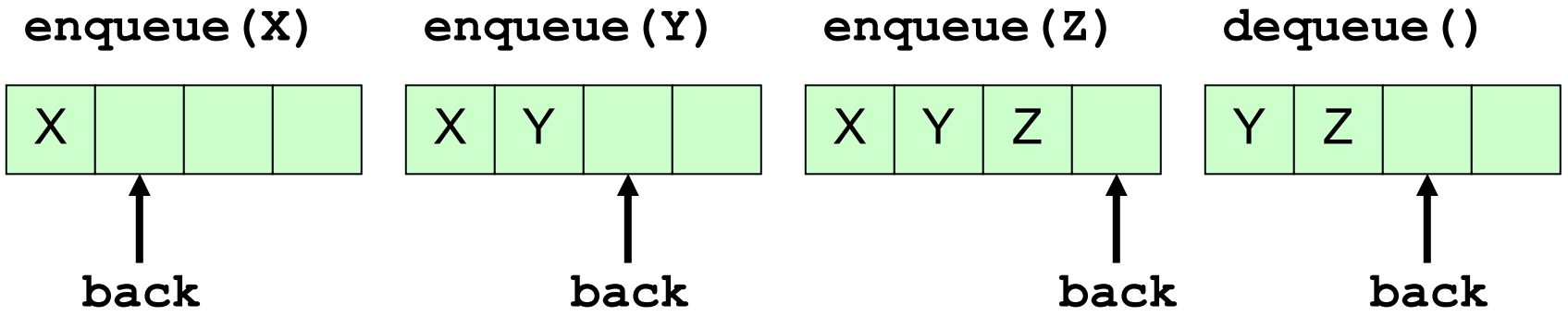
- Antrian printer
- Antrian tiket bioskop

Aplikasi-aplikasi

- Queue berguna untuk menyimpan pekerjaan yang tertunda.
- Kita kelak akan melihat beberapa contoh penggunaannya dalam kuliah-kuliah selanjutnya:
  - Shortest paths problem
    - Lihat diskusi di forum rekursif mengenai *maze runner*. Apakah ADT queue dapat membantu membuat versi non-rekursif yang memberikan jarak terpendek?
  - Topological ordering: given a sequence of *events*, and pairs (*a*,*b*) indicating that event *a* MUST occur prior to *b*, provide a schedule.

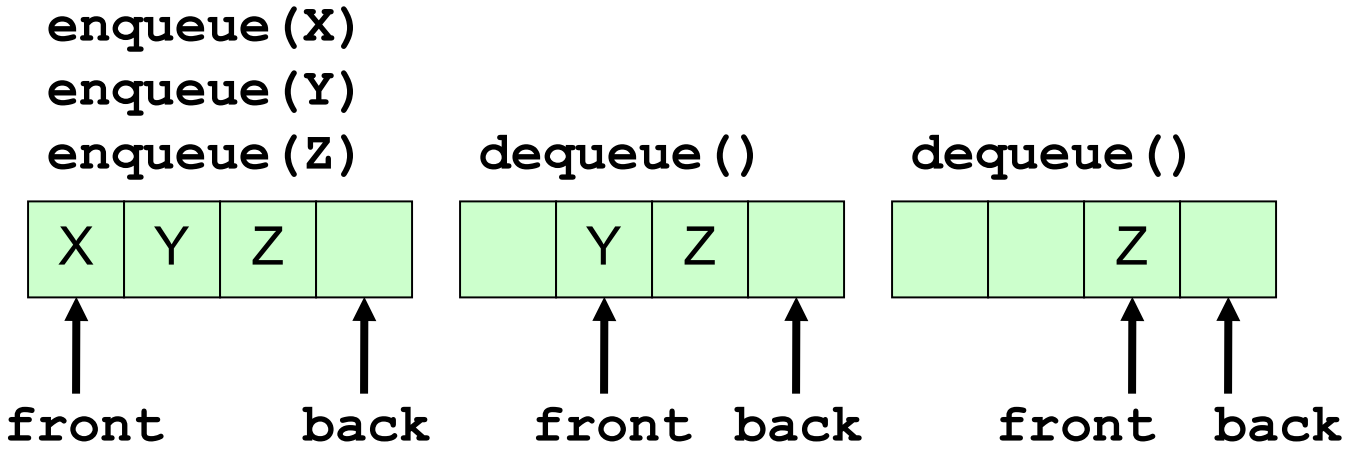
Implementasi dengan Array – cara naive

- Simpan item-item dalam suatu array dengan item terdepan pada index **nol** dan item terbelakang pada index **`back`**.
- Enqueue mudah & cepat: increment **`back`**.
- Dequeue tidak efisien: setiap elemen harus digeserkan ke depan. Akibatnya: waktu menjadi $O(N)$.



Ide yang lebih baik:

- Menggunakan **`front`** untuk mencatat index terdepan.
- Dequeue dilakukan dengan increment **`front`**.
- Waktu Dequeue tetap O(1).

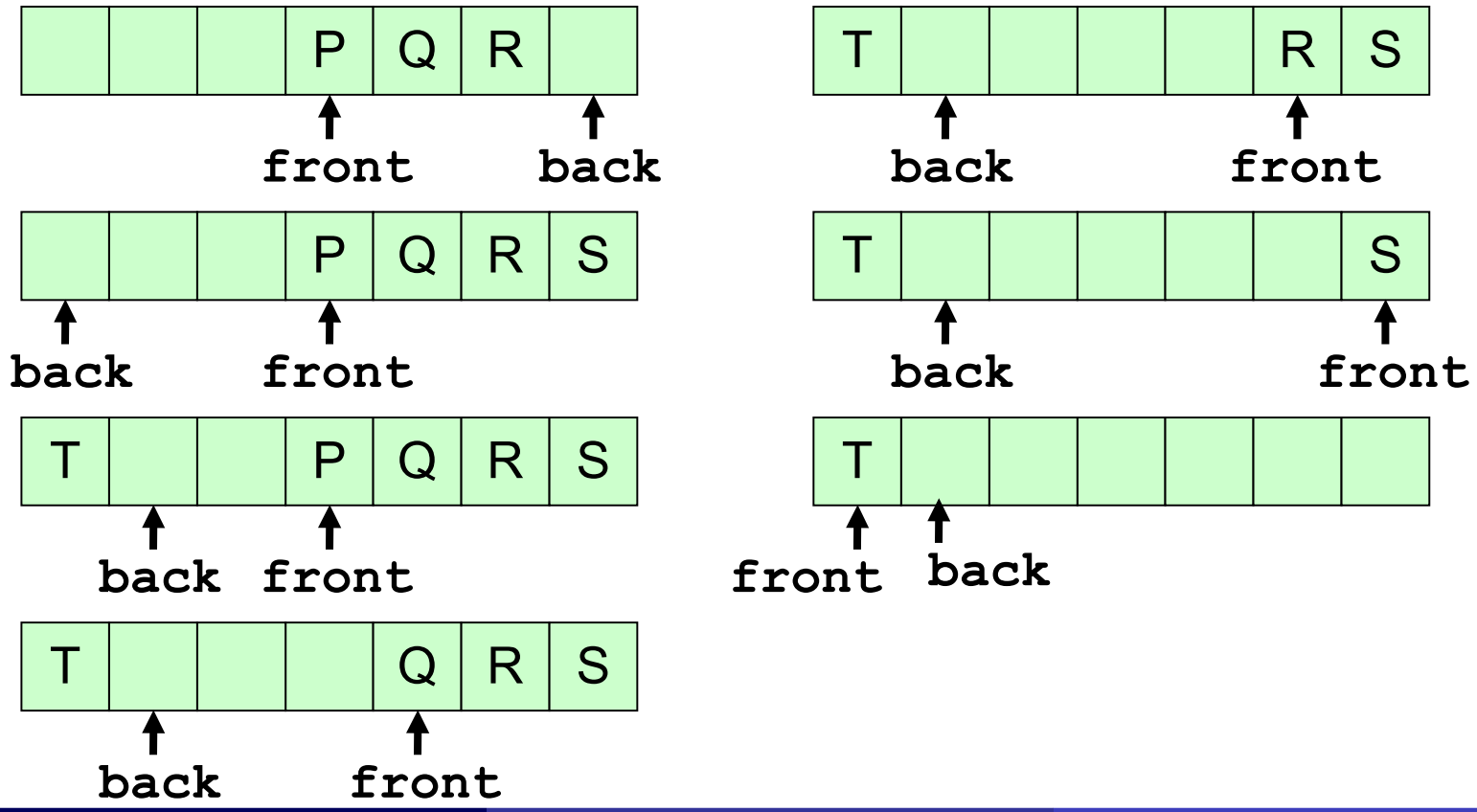


Queue penuh?

- Apa yang terjadi bila index
  `back = Array.length-1` ?
  - Queue penuh?
  - Perlukah dilakukan array doubling?
- Apa yang terjadi bila queue kemudian di enqueue, hingga index
  `first = Array.length-1` ?
  - Apakah queue penuh?
  - Perlukan dilakukan array doubling?

Implementasi Array Circular

- Solusi: gunakan ***wraparound*** untuk menggunakan kembali sel-sel di awal array yang sudah kosong akibat dequeue. Jadi setelah *increment*, jika index **`front`** atau **`back`** keluar dari array maka ia kembali ke 0.



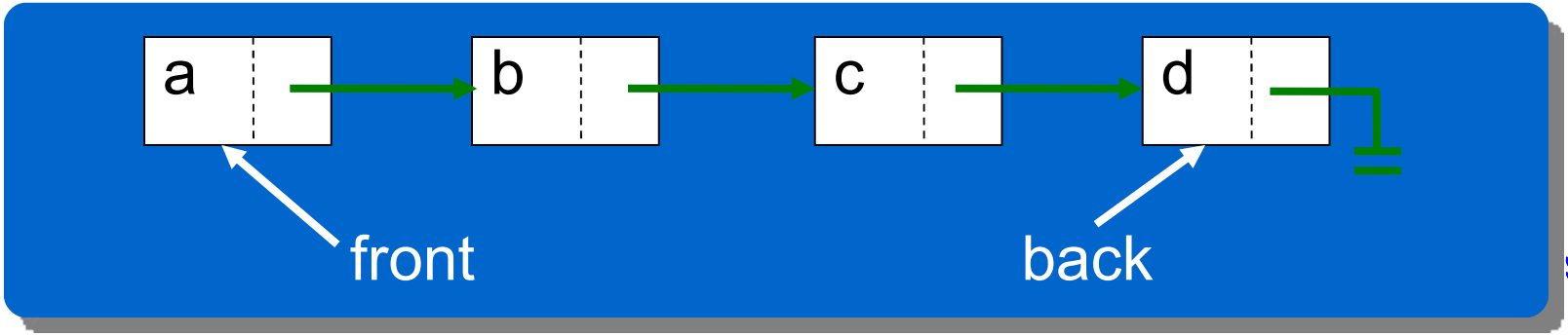
Latihan: Implementasi Array Circular

- Bagaimana implementasi dari:
  - `enqueue(); // menambahkan elemen pada queue`
  - `dequeue(); // mengambil dan menghapus elemen`
  - `isEmpty(); // apakah queue kosong?`
  - `isFull(); // apakah queue sudah full?`
  - `size(); //memberikan jumlah elemen dalam queue`
  - `arrayDoubling(); // memperbesar kapasitas array`

- Kerjakan berpasangan.

Implementasi dengan Linked-List

- Simpan 2 reference: **`front`** → … → … → **`back`**
- **`enqueue(Benda x)`** :
  - Buat sebuah node baru **`N`** yang datanya **`x`**
  - if queue sebelumnya *empty*, maka **`front = back = N`**
  - else tambahkan **`N`** di akhir (dan update **`back`**)
- **`dequeue()`** :
  - Hapus elemen pertama: **`front = front.next`**



Queue Implementation: Linked List

```
public class MyLinkedListQueue<T>
{
    private ListNode<T> front;
    private ListNode<T> back;

    public MyLinkedListQueue() …
    public boolean isEmpty() …
    public void makeEmpty() …
    public T getFront() …
    public void dequeue() …
    public T getFrontAndDequeue() …
    public void enqueue(T x) …
}
```

Rangkuman

- Kedua versi, baik array maupun linked-list berjalan dengan O(1)
- Linked-list memiliki overhead akibat diperlukannya reference `next` pada setiap node
- Khusus untuk Queue, implementasi array lebih sulit dilakukan (secara *circular*)
- Memperbesar kapasitas dalam implementasi array (*arrayDoubling*) memerlukan space sekurangnya 3x jumlah item data!