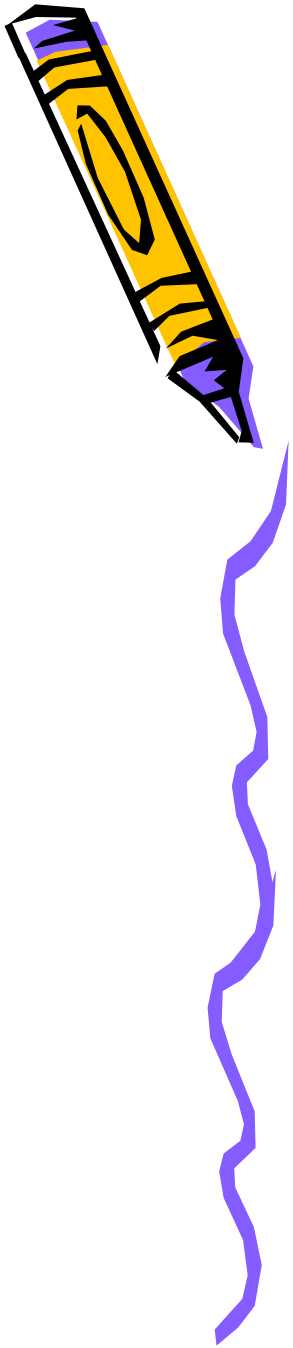
Algoritma Pergantian Page (*Page Replacement*)

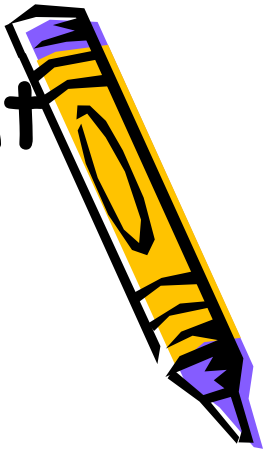
Heri Kurniawan
OS-Gasal 2009/2010

Tujuan Pembelajaran



- Memahami algoritma pergantian page
  - FIFO
  - Optimal
  - Least Recently Used (LRU)
  - Least Recently Used (LRU) Approximation
  - Second-chance
  - Circular Queue (Algoritma Clock)
  - Enhanced Second-Chance
  - Counting-Based : LFU & MFU

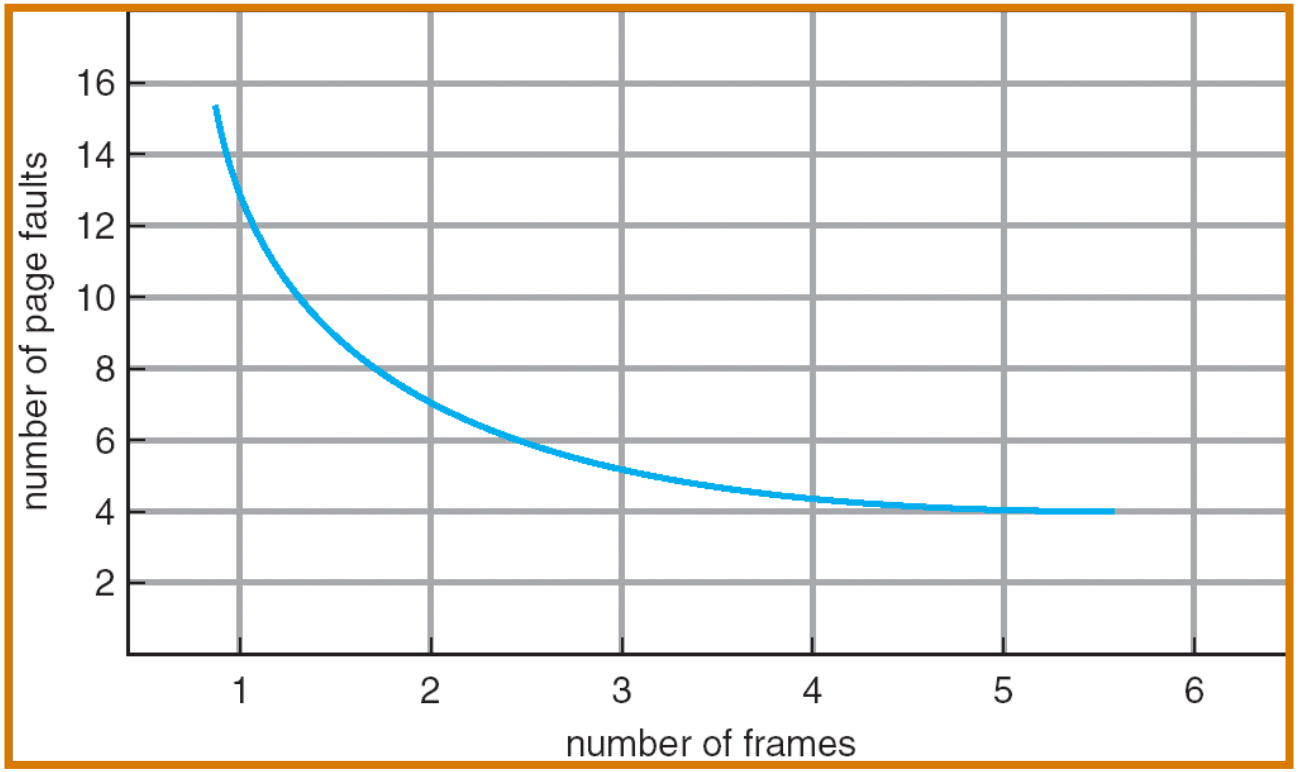
Algoritma Page Replacement



- Tujuan ⇒ Mencari algoritma dengan *page fault rate* terkecil
- Evaluasi algoritma -> jalankan kumpulan *string* (reference string) yang merujuk kelokasi memori dan hitung *page fault* dari string tersebut.
- String menandakan nomor page, bukan *logical address* !
- Misalnya, referensi *string* nya

  1, 4, 1, 6, 1, 6, 1, 6, 1, 6, 1

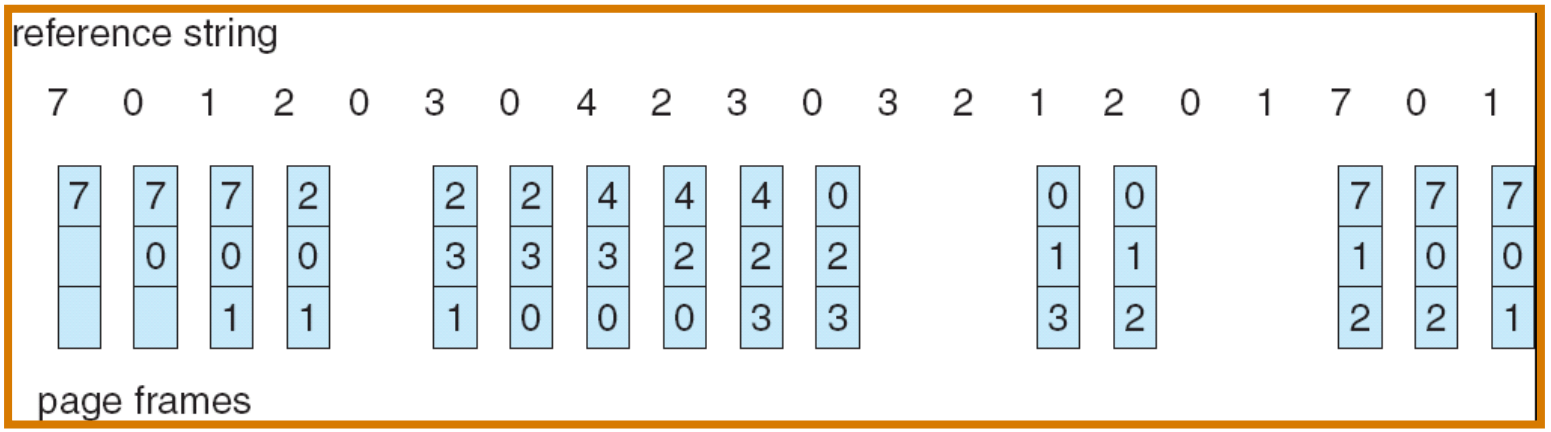
Grafik Page Fault vs Jumlah Frame



Semakin besar jumlah frame, jumlah page fault semakin kecil

Algoritma FIFO

Page yang menempati memori paling lama dipilih untuk diganti



Total page fault = 15

(7,0,1) page fault, dimasukkan kedalam frame

(7,0,1)->(2,0,1)
2 menggantikan 7 karena entri 7 paling tua

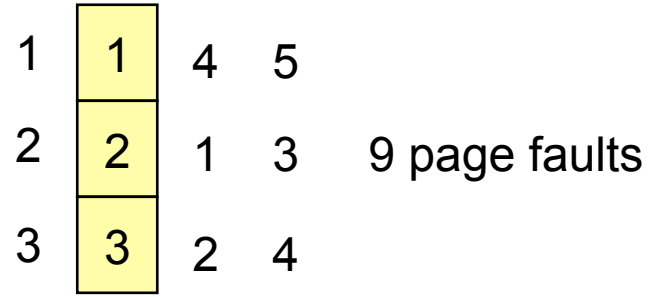
(2,0,1)->(2,3,1)
3 menggantikan 0 karena entri 0 paling tua

FIFO

- FIFO
  - Pros
    - page lama berisikan inisialisasi modul yang tidak digunakan
  - Cons
    - Page lama berisikan inisialisasi variabel yang masih digunakan
- Akibat kesalahan penempatan
  - Page Fault bertambah
  - Memperlambat Eksekusi

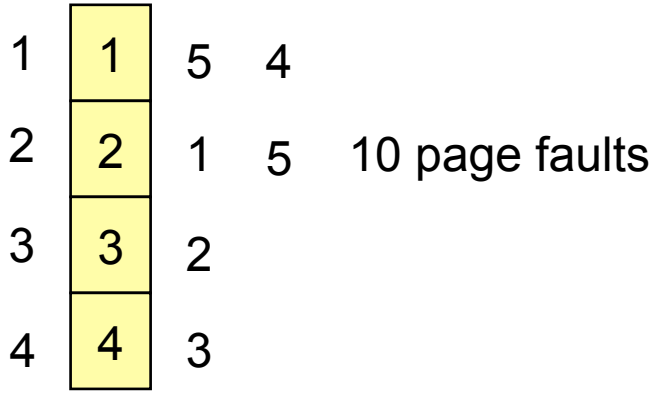
FIFO

- Referensi : 1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5
- 3 frame



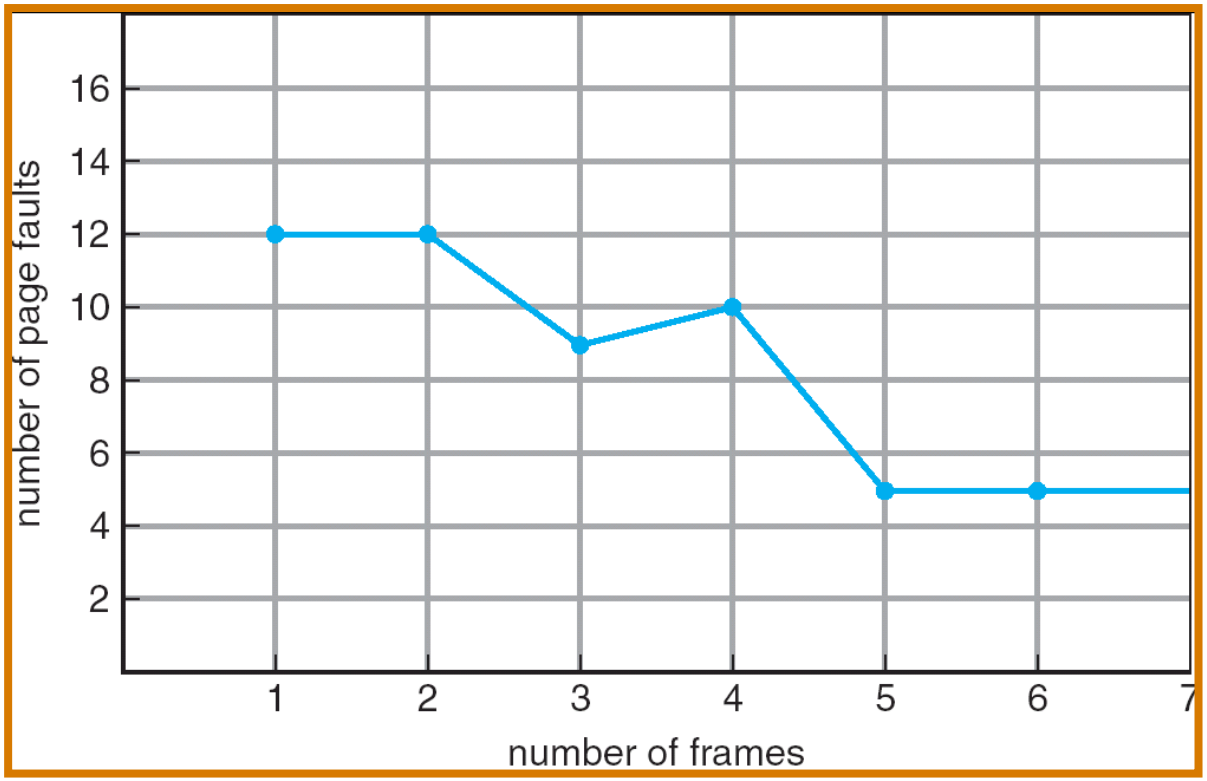
9 page faults

- 4 frames



10 page faults

FIFO-Anomaly Belady

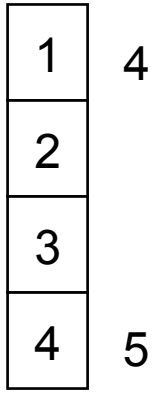


Anomali Belady: frame bertambah ⇒ page fault bertambah

Algoritma Optimal

- Ganti page yang tidak akan digunakan pada periode berikutnya dengan waktu gilir yang terlama.
- 4 frame

1, 2, 3, 4, 1, 2, 5, 1, 2, 3, 4, 5



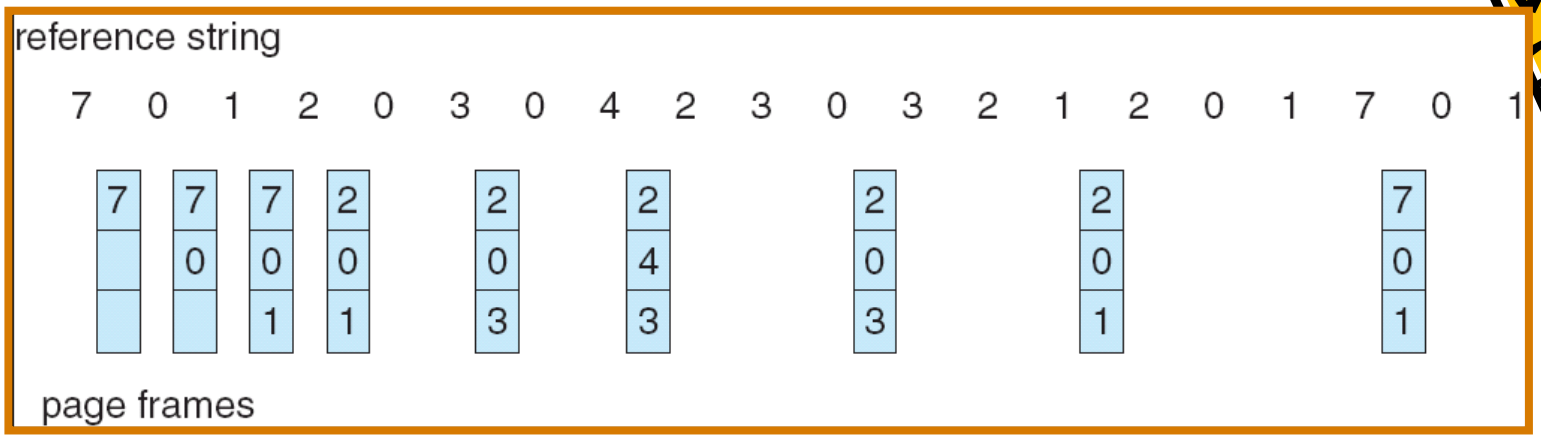
4

5

6 page faults

- Mempunyai jumlah *page fault* paling rendah
- Bagaimana cara memprediksinya?
- Sulit untuk diimplementasikan

Algoritma Optimal



Total page fault = 9

(7,0,1) page fault, dimasukkan kedalam frame

(7,0,1)->(2,0,1)
2 menggantikan 7 karena 7 tidak akan digunakan hingga referensi ke 18

(2,0,1)->(2,0,3)
3 menggantikan 1 karena waktu referensi kembali untuk 1 lebih lama diantara 2 dan 0

Algoritma Least Recently Used (LRU)

- Perbedaan FIFO & OPT
  - FIFO menggunakan waktu dimulainya sebuah page dipindahkan ke memori
  - OPT menggunakan waktu sebuah page akan digunakan kembali dimasa mendatang
- LRU → cari page yang mempunyai waktu terlama yang belum pernah digunakan diantara page lain

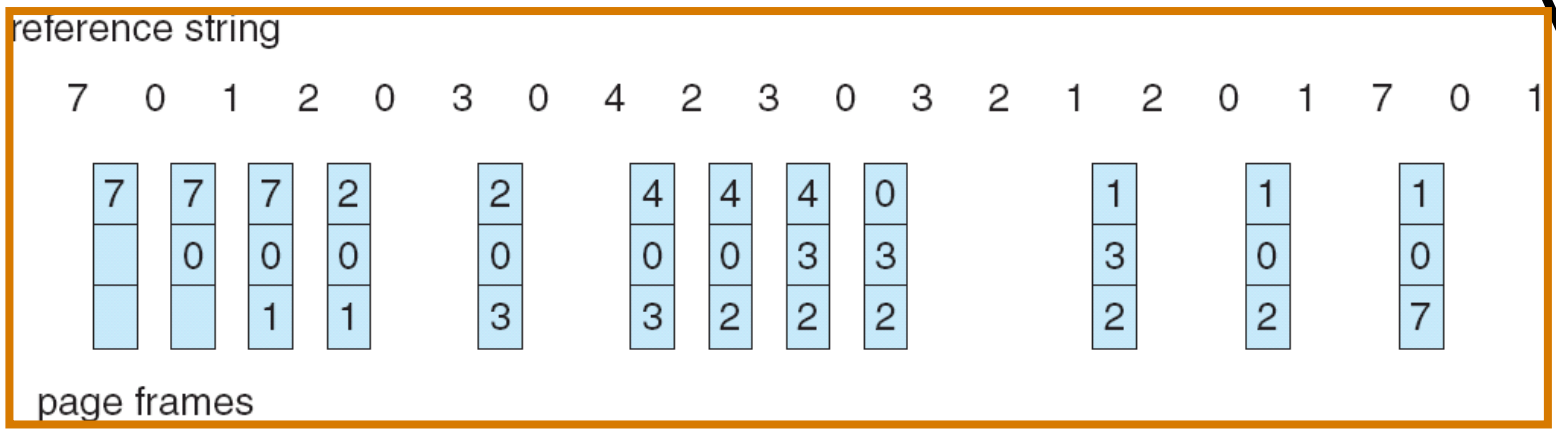
Algoritma Least Recently Used (LRU)

- Contoh :
  - Referensi string:

1, 2, 3, 4, 1, 2, **5**, 1, 2, **3**, **4**, **5**

1	1	1	1	**5**
2	2	2	2	2
3	**5**	5	**4**	4
4	4	**3**	3	3

Algoritma Least Recently Used (LRU)



Total page fault = 12

(7,0,1) page fault, dimasukkan kedalam frame

(2,0,1) -> (2,0,3)
3 menggantikan 1 karena 1 menempati periode waktu paling lama belum digunakan

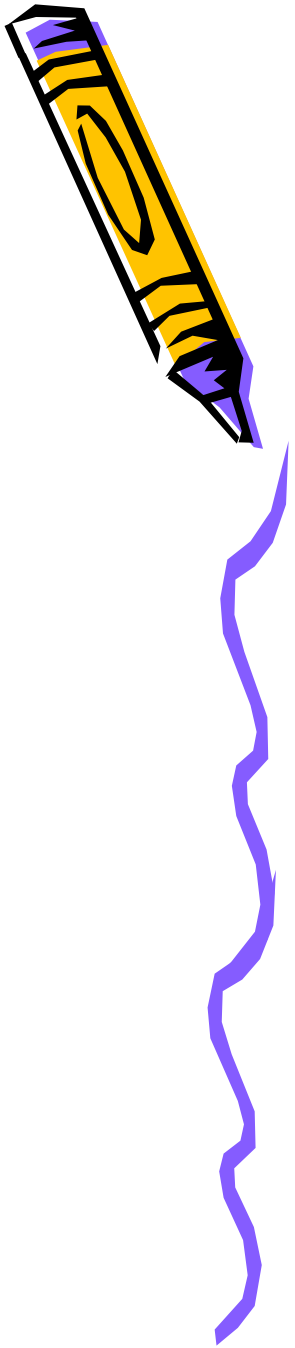
(2,0,3) -> (4,0,3)
4 menggantikan 2 karena 2 menempati periode waktu paling lama belum digunakan

Algoritma Least Recently Used (LRU)

- Pengaturan penggunaan frame berdasarkan waktu terlama
  - Clock Counter
  - Stack
- *Clock Counter*
  - Setiap entri page punya field *time-of-use*
  - Jika ada referensi ke suatu page, nilai register clock ditempatkan ke field *time-of-use*
  - Ganti page yang mempunyai waktu paling awal

LRU dengan counter clock

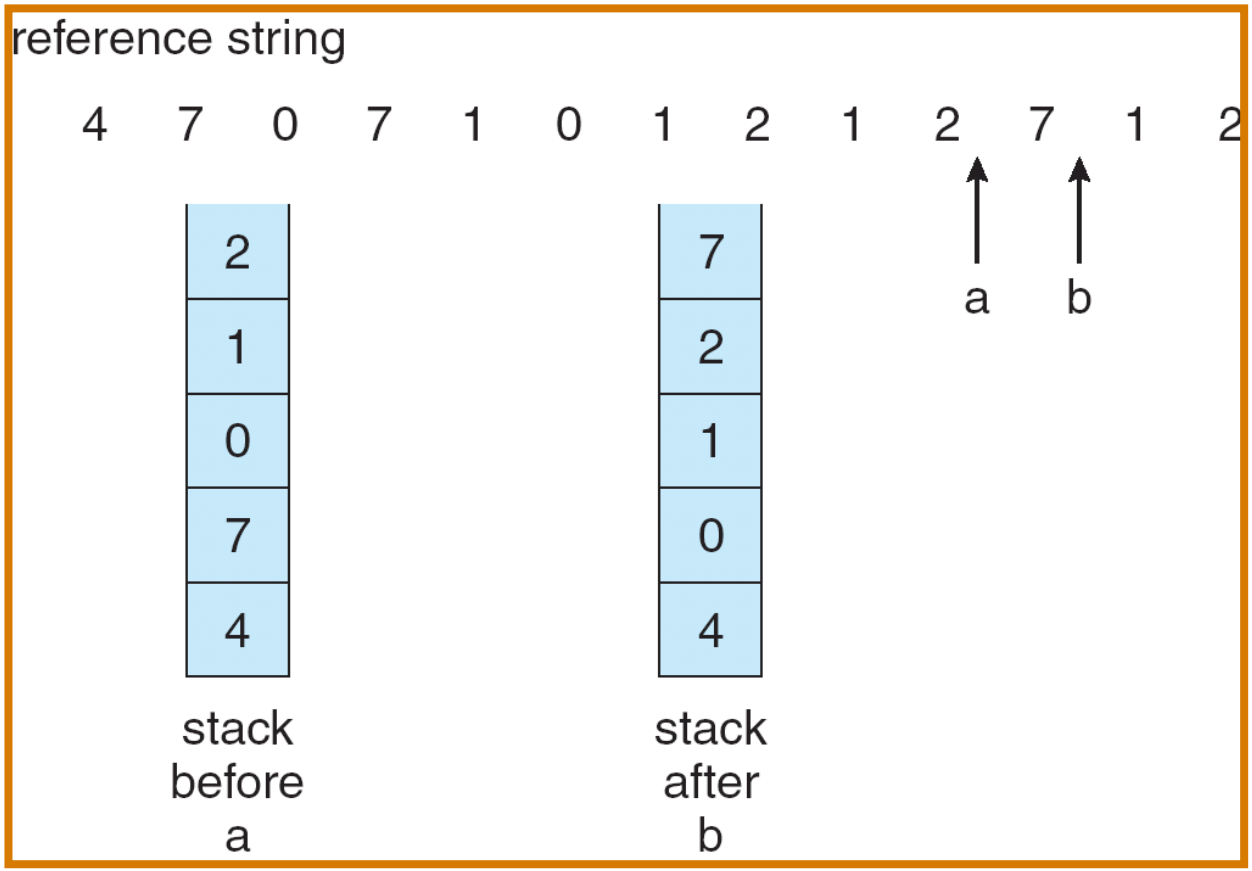
page:	faults:	frames:			time:		
7	1	7	-1	-1	1		
0	2	7	0	-1	1	2	
1	3	7	0	1	1	2	3
2	4	2	0	1	4	2	3
0	4	2	0	1	4	5	3
3	5	2	0	3	4	5	6
0	5	2	0	3	4	7	6
4	6	4	0	3	8	7	6
2	7	4	0	2	8	7	9
3	8	4	3	2	8	10	9
0	9	0	3	2	11	10	9
3	9	0	3	2	11	12	9
2	9	0	3	2	11	12	13
1	10	1	3	2	14	12	13
2	10	1	3	2	14	12	15
0	11	1	0	2	14	16	15
1	11	1	0	2	17	16	15
7	12	1	0	7	17	16	18
0	12	1	0	7	17	19	18
1	12	1	0	7	20	19	18



Algoritma Least Recently Used (LRU)

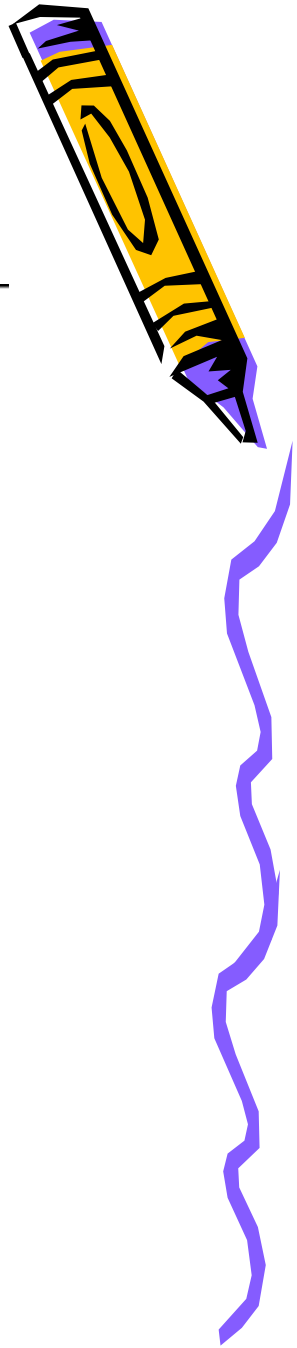
- Stack
  - Setiap ada referensi page, pindahkan page ke posisi paling atas
  - Page yang paling sering digunakan (*most recently used*) berada diposisi atas.
  - Page yang paling jarang digunakan (*least recently used*) berada diposisi bawah.
  - Umumnya berbentuk *double linked-list*

Algoritma Least Recently Used (LRU)



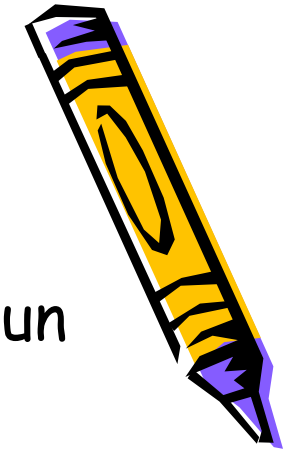
Penggunaan stack

LRU - Stack



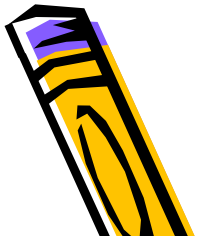
page:	faults:	frames:			stack:		
7	1	7	-1	-1	7		
0	2	7	0	-1	7	0	
1	3	7	0	1	7	0	1
2	4	2	0	1	0	1	2
0	4	2	0	1	1	2	0
3	5	2	0	3	2	0	3
0	5	2	0	3	2	3	0
4	6	4	0	3	3	0	4
2	7	4	0	2	0	4	2
3	8	4	3	2	4	2	3
0	9	0	3	2	2	3	0
3	9	0	3	2	2	0	3
2	9	0	3	2	0	3	2
1	10	1	3	2	3	2	1
2	10	1	3	2	3	1	2
0	11	1	0	2	1	2	0
1	11	1	0	2	2	0	1
7	12	1	0	7	0	1	7
0	12	1	0	7	1	7	0
1	12	1	0	7	7	0	1

Aproksimasi algoritma LRU



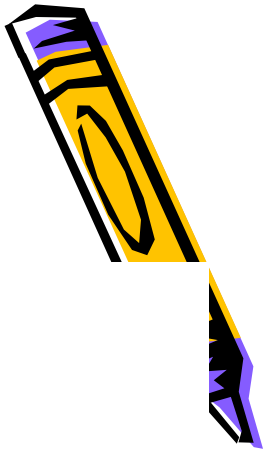
- Beberapa hardware tidak mendukung LRU, namun mensupport reference bit
- Reference bit digunakan untuk mengimplementasikan algoritma LRU
- Awalnya semua reference bit adalah 0
- Bit referensi (*reference bit*) -> untuk menandakan page sedang digunakan (read /write) atau tidak
  - Nilai awal bit=0 → page tidak digunakan
  - Nilai bit= 1 → page sedang digunakan (direferensi)
  - Ganti page yang mempunyai nilai *reference bit*= 0

Aproksimasi algoritma LRU (cont.)



- Terjadi interrupt dalam interval 100 msec
- Setiap interval, geser bit paling kiri ke kanan
- Bit referensi (8bit)
  - 8 bit shift-register → history penggunaan page untuk 8 periode
  - 00000000 → page belum pernah digunakan/ direference selama 8 periode
  - 11111111 → page digunakan selama 8 periode
  - 11000100 ?
  - 01110111 ?
- Page yang diganti adalah page yang mempunyai bit paling kecil
- Penggunaan Reference bit yang lain ? → lihat algoritma second-chance

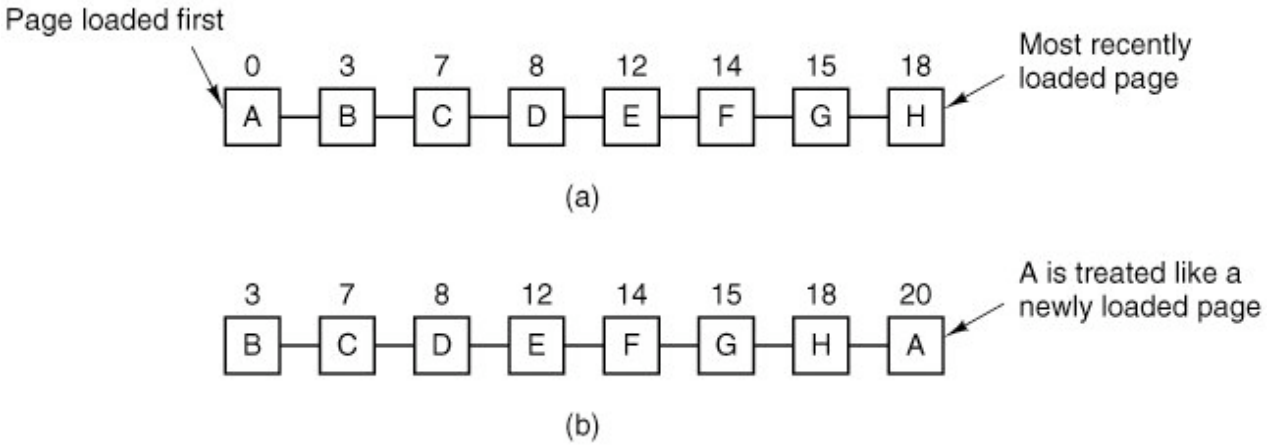
Algoritma Second-Chance



- Algoritma *Second-Chance*
  - Modifikasi dari algoritma FIFO
    - Menghindari pergantian *Old page* yang direferensi
    - Mencari *old page* yang jarang direferensi
  - Menggunakan bit referensi (*reference bit*)
    - Nilai bit = 0, page diganti
    - Nilai bit = 1
      - Ubah *arrival time = current time*
      - Ubah nilai bit = 0
  - Jika page selalu direferensi, maka page tak pernah dihapus

Algoritma Second-Chance

- Page yang terpilih (*victim page*), ditimpa dengan page baru pada posisi tersebut
- Jika reference bit semua adalah 0, algoritma second chance menyerupai FIFO

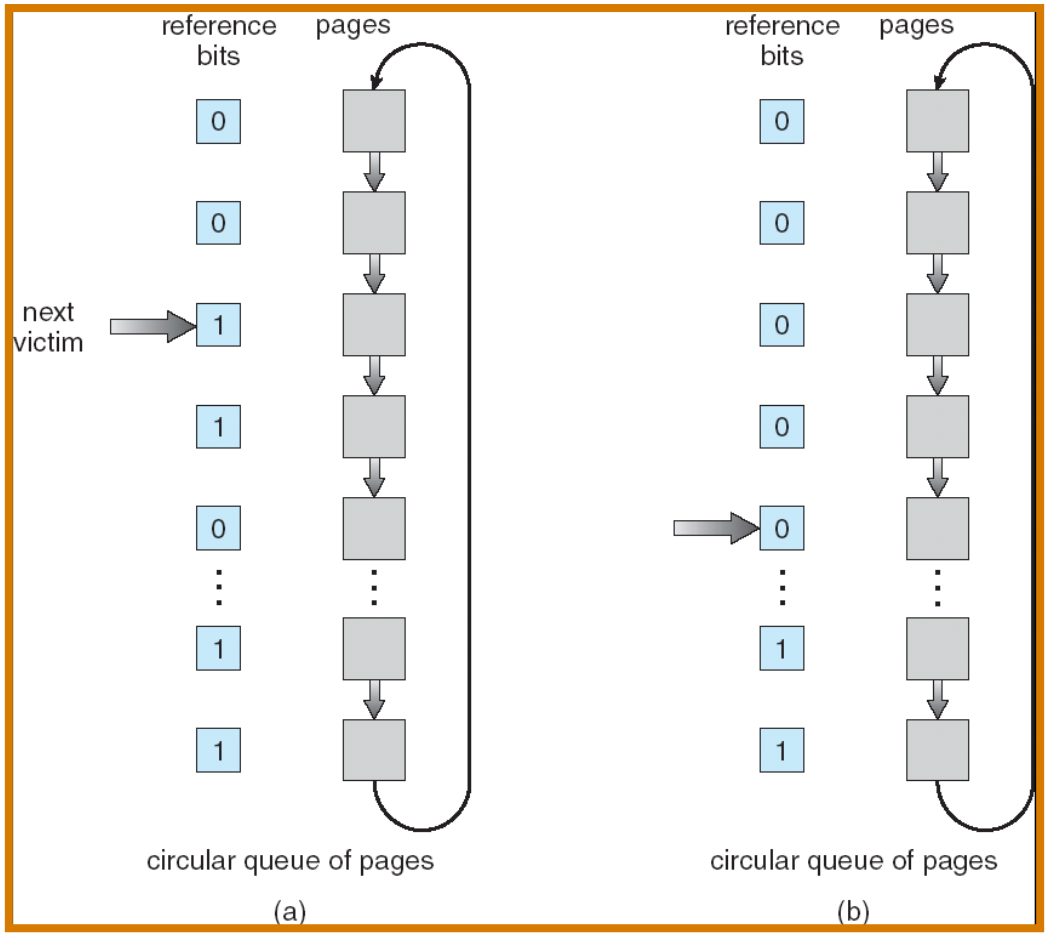


a. Deretan page dalam bentuk FIFO
b. Page A dipindah dari posisi *arrival time* (0) ke posisi *current time* (20)

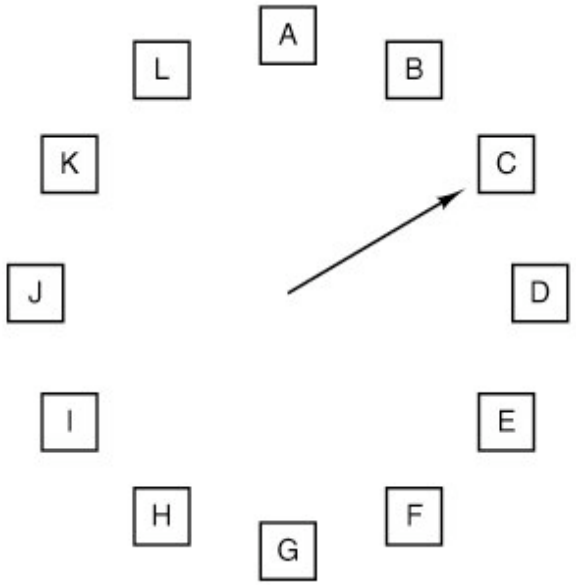
- *Circular Queue (Algoritma Clock)*

- Model lain dari Algoritma *Second-Chance* ⇒ Circular Queue (Algoritma *clock*)
  - Page dalam bentuk lingkaran
  - Jika :
    - Nilai bit = 0, ganti page
    - Nilai bit = 1
      - Ubah nilai bit=0
      - Pointer bergerak ke page berikutnya searah jarum jam

- *Circular Queue* (Algoritma *Clock*)



Circular Queue (Algoritma Clock)



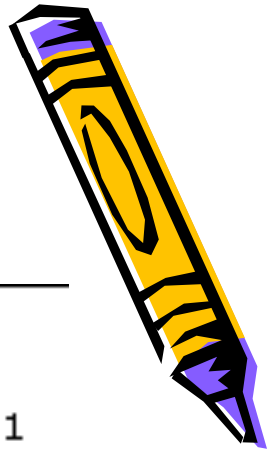
When a page fault occurs, the page the hand is pointing to is inspected. The action taken depends on the R bit:

R = 0: Evict the page

R = 1: Clear R and advance hand

Algoritma Clock

Circular Queue (Algoritma Clock)

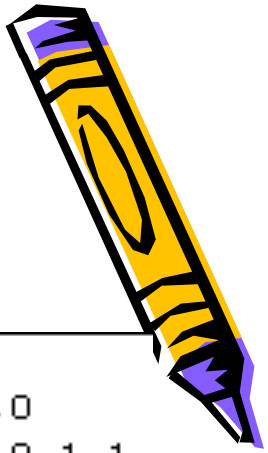


page:	faults:	frames:			ref:		
7	1	7	-1	-1	1		
0	2	7	0	-1	1	1	
1	3	7	0	1	1	1	1
2	4	2	0	1	1	0	0
0	4	2	0	1	1	1	0
3	5	2	0	3	1	0	1
0	5	2	0	3	1	1	1
4	6	4	0	3	1	0	0
2	7	4	2	3	1	1	0
3	7	4	2	3	1	1	1
0	8	4	2	0	0	0	1
3	9	3	2	0	1	0	1
2	9	3	2	0	1	1	1
1	10	3	1	0	0	1	0
2	11	3	1	2	0	1	1
0	12	0	1	2	1	1	1
1	12	0	1	2	1	1	1
7	13	0	7	2	0	1	0
0	13	0	7	2	1	1	0
1	14	0	7	1	1	1	1

Algoritma Enhanced Second-Chance

- Referenced (R) = Read / Write
- Modify (M) = Write
- (R,M) = (Referenced bit, Modify bit)
  - Kelas 0 (0,0) : tidak digunakan dan tidak dimodifikasi
  - Kelas 1 (0,1) : tidak digunakan namun dimodifikasi
  - Kelas 2 (1,0) : digunakan dan tidak dimodifikasi
  - Kelas 3 (1,1) : digunakan dan dimodifikasi
- Prioritas pergantian page, mulai dari kelas yang paling rendah

Algoritma Enhanced Second-Chance (Cont.)



rpage:	7	faults:	1	frames:	7	-1	-1	ref,dirty:	1,0			
	0		2		7	0	-1		1,0	1,0		
wpage:	1		3		7	0	1		1,0	1,0	1,1	
	2		4		2	0	1		1,0	0,0	0,1	
	0		4		2	0	1		1,0	1,0	0,1	
	3		5		2	0	3		1,0	0,0	1,0	
wpage:	0		5		2	0	3		1,0	1,1	1,0	
	4		6		4	0	3		1,0	0,1	0,0	
	2		7		4	0	2		1,0	0,1	1,0	
	3		8		4	3	2		0,0	1,0	1,0	
	0		9		0	3	2		1,0	1,0	0,0	
	3		9		0	3	2		1,0	1,0	0,0	
	2		9		0	3	2		1,0	1,0	1,0	
	1		10		0	1	2		0,0	1,0	0,0	
	2		10		0	1	2		0,0	1,0	1,0	
	0		10		0	1	2		1,0	1,0	1,0	
	1		10		0	1	2		1,0	1,0	1,0	
	7		11		0	1	7		0,0	0,0	1,0	
	0		11		0	1	7		1,0	0,0	1,0	
	1		11		0	1	7		1,0	1,0	1,0	

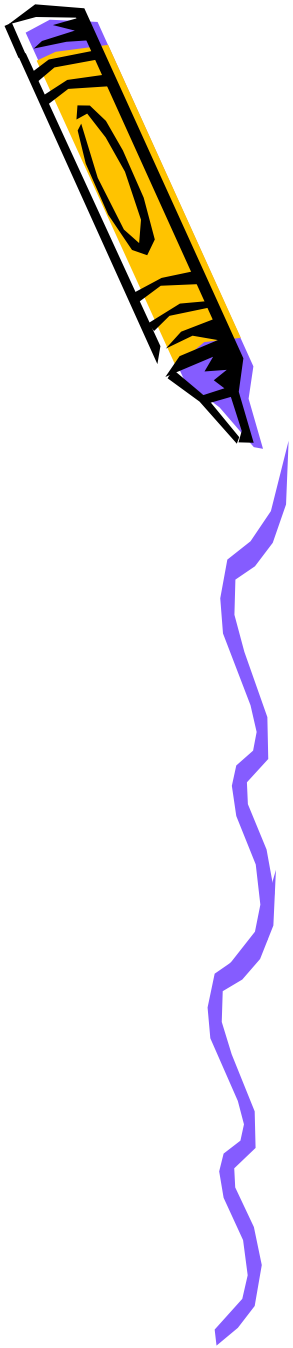
Algoritma Counting-Based

- Rekam counter dari jumlah referensi masing-masing page

- **Algoritma LFU (Least Frequently Used)**: ganti page yang mempunyai jumlah referensi paling kecil

- **Algoritma MFU (Most Frequently Used)**: ganti page yang mempunyai jumlah referensi paling besar.

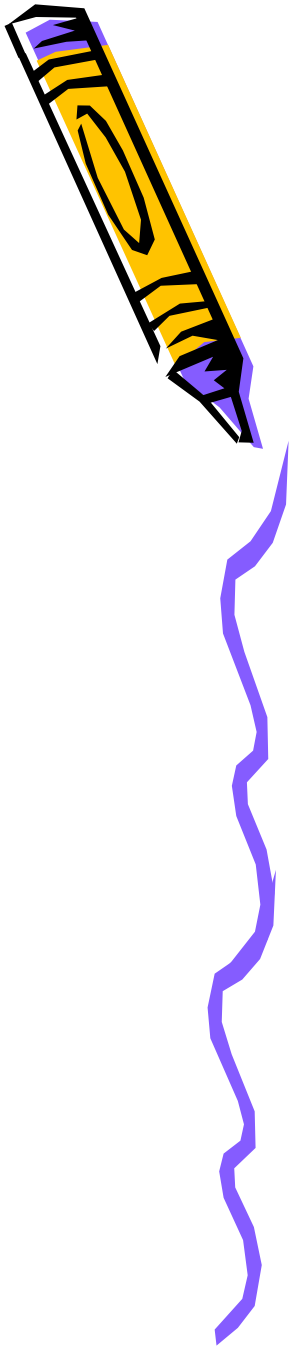
LFU



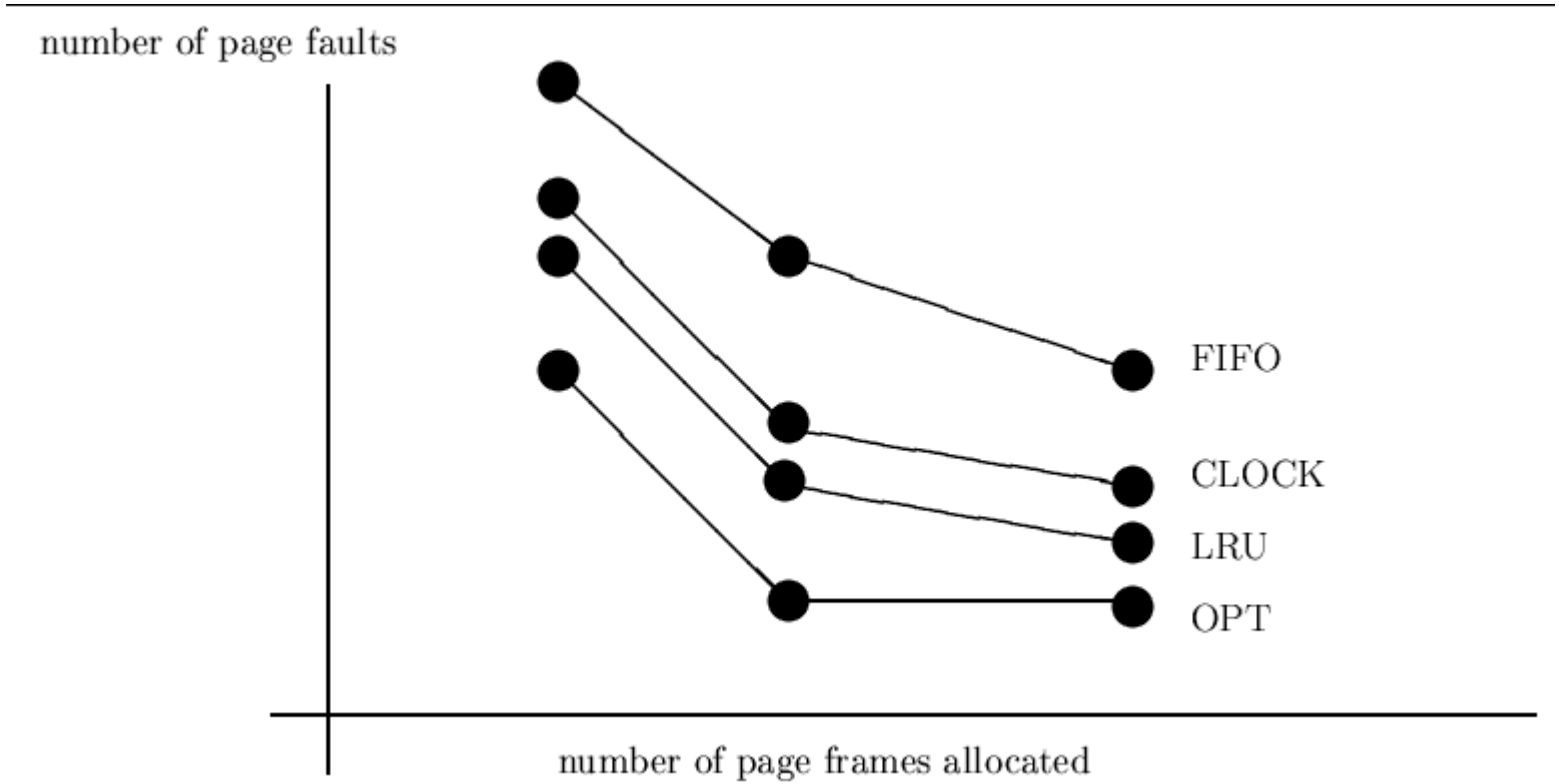
page:	faults:	frames:			count:			
7	1	7	-1	-1	1			
0	2	7	0	-1	1	1		
1	3	7	0	1	1	1	1	
2	4	2	0	1	1	1	1	
0	4	2	0	1	1	2	1	
3	5	2	0	3	1	2	1	
0	5	2	0	3	1	3	1	
4	6	4	0	3	1	3	1	
2	7	4	0	2	1	3	1	
3	8	3	0	2	1	3	1	
0	8	3	0	2	1	4	1	
3	8	3	0	2	2	4	1	
2	8	3	0	2	2	4	2	
1	9	3	0	1	2	4	1	
2	10	3	0	2	2	4	1	
0	10	3	0	2	2	5	1	
1	11	3	0	1	2	5	1	
7	12	3	0	7	2	5	1	
0	12	3	0	7	2	6	1	
1	13	3	0	1	2	6	1	

MFU

page:	faults:	frames:			count:		
7	1	7	-1	-1	1		
0	2	7	0	-1	1	1	
1	3	7	0	1	1	1	1
2	4	2	0	1	1	1	1
0	4	2	0	1	1	2	1
3	5	2	3	1	1	1	1
0	6	2	3	0	1	1	1
4	7	4	3	0	1	1	1
2	8	4	2	0	1	1	1
3	9	4	2	3	1	1	1
0	10	0	2	3	1	1	1
3	10	0	2	3	1	1	2
2	10	0	2	3	1	2	2
1	11	0	1	3	1	1	2
2	12	0	1	2	1	1	1
0	12	0	1	2	2	1	1
1	12	0	1	2	2	2	1
7	13	7	1	2	1	2	1
0	14	7	0	2	1	1	1
1	15	7	0	1	1	1	1



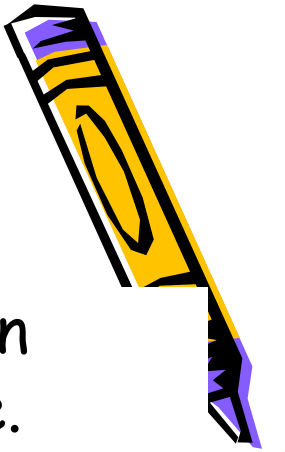
Kinerja Algoritma Pergantian Page



Pertanyaan

- Bagaimana alur proses page replacement?
- Bagaimana algoritma FIFO bekerja?
- Bagaimana algoritma Optimal bekerja?
- Bagaimana algoritma Second Chance bekerja?
- Bagaimana algoritma LRU (Least Recently Used) bekerja?
- Bagaimana algoritma enchanced second chance bekerja?
- Bagaimana algoritma counting based LFU & MFU bekerja?

latihan



- Sebuah proses mempunyai 3 frame menggunakan algoritma LRU untuk melakukan pergantian page. Antrian page mempunyai format (waktu, nomor page), secara berturut-turut adalah (0,4),(1,7),(2,4),(3,1), (4,7),(5,2),(6,9),(7,1),(8,7),(9,9),(10,4). Secara berturut-turut, bagaimanakah posisi frame saat page fault ke 6 dan 7?

A. 2,7,1 dan 2,7,9

B. 2,1,9 dan 7,1,9

C. 2,7,9 dan 2,1,9

D. 7,1,9 dan 7,4,9

E. 4,7,1 dan 2,7,1

Latihan

Frame	0	1	2	3	4	5	6	7
Page	17	32	41	5	7	13	2	20
Reference Bit	1	0	0	0	0	1	1	0

- Berdasarkan tabel diatas, diketahui frame 0 berisikan page 17, frame 1 berisikan page 32, dan seterusnya. Diasumsikan sistem menggunakan algoritma clock untuk melakukan pergantian page. Pada baris ketiga terdapat reference bit yang digunakan sistem saat ini. Reference bit diset 1 jika page dipindahkan ke memori.
- Saat ini posisi pointer berada pada frame ke 3. Frame ke 4 belum dieksekusi sama sekali. Jika terjadi permintaan page dengan referensi string sebagai berikut : 32, 14, 15, 2, 18, Jawablah pertanyaan berikut:

Isilah kolom berikut:

Frame	0	1	2	3	4	5	6	7
Page								
Reference Bit								

Berapa jumlah page yang diganti ?
Page mana saja yang diganti ?
Pada frame berapa, posisi terakhir dari pointer clock ?