



# Pengurutan

Tim Olimpiade Komputer Indonesia

# Pendahuluan

Melalui dokumen ini, kalian akan:

- Mempelajari konsep algoritma sederhana.
- Memahami berbagai algoritma pengurutan sederhana.
- Memahami keuntungan dan kerugian dari masing-masing algoritma.



## Pendahuluan (lanj.)

- Pengurutan sering digunakan dalam pemrograman untuk membantu membuat data lebih mudah diolah.
- Terdapat berbagai macam cara untuk melakukan pengurutan, masing-masing dengan keuntungan dan kekurangannya.



## Soal: Bebek Berbaris

Deskripsi:

- Sebelum masuk ke dalam kandang, para bebek akan berbaris terlebih dahulu.
- Seiring dengan berjalannya waktu, bebek-bebek tumbuh tinggi. Pertumbuhan ini berbeda-beda; ada bebek yang lebih tinggi dari bebek lainnya.
- Terdapat  $N$  ekor bebek, bebek ke- $i$  memiliki tinggi sebesar  $h_i$ .
- Perbedaan tinggi ini menyebabkan barisan terlihat kurang rapi, sehingga Pak Dengklek ingin bebek-bebek berbaris dari yang paling pendek ke paling tinggi.
- Bantulah para bebek untuk mengurutkan barisan mereka!



## Soal: Bebek Berbaris (lanj.)

Batasan:

- $1 \leq N \leq 1.000$
- $1 \leq h_i \leq 100.000$ , untuk  $1 \leq i \leq N$



# Solusi

- Persoalan ini meminta kita melakukan pengurutan  $N$  bilangan dengan rentang datanya antara 1 sampai 100.000.
- Terdapat sejumlah algoritma pengurutan, yang akan dibahas pada bagian berikutnya.



Bagian 1

## Bubble Sort



# Ide Dasar

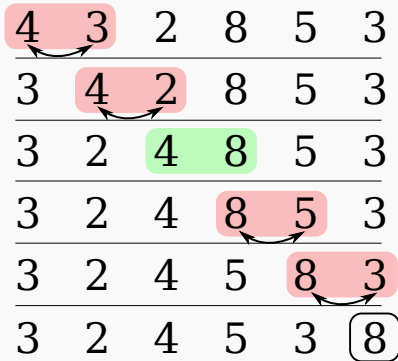
- Mulai dari elemen pertama, cek apakah elemen sesudahnya (yaitu elemen kedua) lebih kecil.
- Bila ya, artinya elemen pertama ini harus terletak sesudah elemen kedua. Untuk itu, lakukan penukaran.
- Bila tidak, tidak perlu lakukan penukaran.
- Lanjut periksa elemen kedua, ketiga, dan seterusnya.





## Ide Dasar (lanj.)

- Proses ini mengakibatkan elemen dengan nilai terbesar pasti digiring ke posisi terakhir:



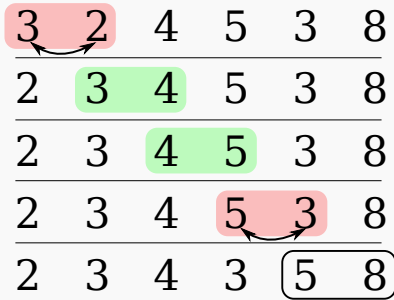
ditukar

tidak ditukar



## Ide Dasar (lanj.)

- Bila proses ini dilakukan lagi, maka elemen kedua terbesar akan terletak di posisi kedua dari terakhir.
- Kali ini pemeriksaan cukup dilakukan sampai 1 elemen sebelum posisi terakhir, sebab elemen terakhir sudah pasti tidak akan berubah posisi:



 ditukar

 tidak ditukar



## Ide Dasar (lanj.)

- Demikian pula untuk eksekusi yang ketiga kalinya, yang kebetulan data sudah menjadi terurut:

Diagram illustrating the steps of bubble sort on the array [2, 3, 4, 3, 5, 8]:

- Initial array: 2, 3, 4, 3, 5, 8
- Step 2: 3 and 4 are compared.
- Step 3: 4 and 3 are compared and swapped.
- Step 4: Final array after the first pass: 2, 3, 3, 4, 5, 8. The elements 4 and 3 are in their final sorted positions.

 ditukar

☐ tidak ditukar



## Ide Dasar (lanj.)

### Pertanyaan

Jika eksekusi ke- $i$  mengakibatkan  $i$  elemen terbesar terletak di  $i$  posisi terakhir, maka berapa kali eksekusi yang dibutuhkan sampai seluruh data dijamin terurut?



# Analisis

- Dibutuhkan  $N$  kali eksekusi hingga seluruh data terurut.
- Dalam sekali eksekusi, dilakukan iterasi dari elemen pertama sampai elemen terakhir, yang kompleksitasnya berkisar antara  $O(1)$  sampai  $O(N)$ , tergantung eksekusi ke berapa.
- Secara rata-rata, kompleksitasnya setiap eksekusi adalah  $O(N/2)$ , yang bisa ditulis  $O(N)$ .
- Total kompleksitas bubble sort adalah  $O(N^2)$ .



## Contoh Kode

---

```
for i := 1 to N-1 do begin
  for j := 1 to N-i do begin
    if (h[i] > h[j]) then begin
      swap(h[i], h[j]); (* tukar isi h[i] dengan h[j] *)
    end;
  end;
end;
```

---

Catatan: fungsi **swap** tidak tersedia secara *default* pada Pascal, jadi harus Anda implementasikan sendiri.



## Bagian 2

### Selection Sort



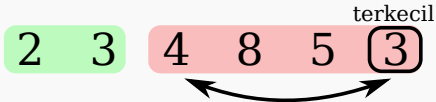
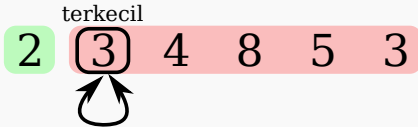
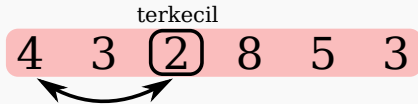
# Ide Dasar

- Pilih elemen terkecil dari data, lalu pindahkan ke elemen pertama.
- Pilih elemen terkecil dari data yang tersisa, lalu pindahkan ke elemen kedua.
- Pilih elemen terkecil dari data yang tersisa, lalu pindahkan ke elemen ketiga.
- ... dan seterusnya sampai seluruh elemen terurut.





## Ilustrasi Jalannya Algoritma



...

belum terurut  
terurut



# Analisis

- Pencarian elemen terkecil dapat dilakukan dengan *linear search*.
- Berhubung perlu dilakukan  $N$  kali *linear search*, maka kompleksitas selection sort adalah  $O(N^2)$ .



## Contoh Kode

---

```
for i := 1 to N do begin
    (* pencarian indeks terkecil *)
    minIndex := i;
    for j := i+1 to N do begin
        if (h[j] < h[minIndex]) then begin
            minIndex := j;
        end;
    end;

    (* tukar *)
    swap(h[i], h[minIndex]);
end;
```

---



## Kegunaan Khusus

- Cara kerja selection sort memungkinkan kita untuk melakukan *partial sort*.
- Jika kita hanya tertarik dengan  $K$  elemen terkecil, kita bisa melakukan proses seleksi dan menukar pada selection sort  $K$  kali.
- Dengan demikian, pencarian  $K$  elemen terkecil dapat dilakukan dalam  $O(KN)$ , cukup baik apabila  $K$  jauh lebih kecil dari  $N$ .



## Bagian 3

### Insertion Sort



# Ide Dasar

- Anggap kita memiliki sebagian data yang terurut.
- Secara bertahap, sisipkan elemen baru ke dalam data yang sudah terurut.
- Penyisipan ini harus dilakukan sedemikian sehingga hasilnya tetap terurut.
- Misalnya saat ini data yang sudah terurut adalah  $[1, 2, 3, 8]$ , lalu elemen yang akan disisipkan adalah 5, maka dihasilkan  $[1, 2, 3, 5, 8]$ .



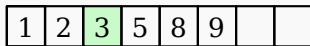
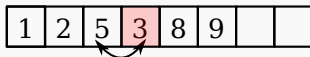
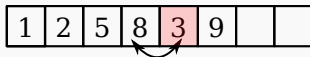
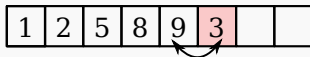
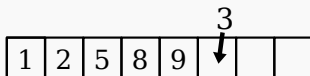
## Jalannya Algoritma

Prosesnya dapat digambarkan sebagai berikut:

Data Asal	Data Terurut
[4, 3, 2, 8, 5, 3]	[]
[3, 2, 8, 5, 3]	[4]
[2, 8, 5, 3]	[3, 4]
[8, 5, 3]	[2, 3, 4]
[5, 3]	[2, 3, 4, 8]
[3]	[2, 3, 4, 5, 8]
[]	[2, 3, 3, 4, 5, 8]

## Proses Penyisipan (insertion)

- Strategi yang dapat digunakan adalah meletakkan angka yang hendak disisipkan pada bagian paling belakang, lalu digiring mundur sampai posisinya tepat.
- Misalnya pada kasus menyisipkan angka 3 pada data [1, 2, 5, 8, 9]:



selesai





# Analisis

- Untuk mengurutkan data, diperlukan  $N$  kali penyisipan.
- Setiap menyisipkan, dilakukan penggiringan yang kompleksitasnya:
  - Pada kasus terbaik  $O(1)$ , ketika angka yang dimasukkan merupakan angka terbesar pada data saat ini.
  - Pada kasus terburuk  $O(N)$ , yaitu ketika angka yang dimasukkan merupakan angka terkecil pada data saat ini.
  - Pada kasus rata-rata, kompleksitasnya  $O(N/2)$ , atau bisa ditulis  $O(N)$ .



## Analisis (lanj.)

- Berdasarkan observasi tersebut, insertion sort dapat bekerja sangat cepat ketika datanya sudah hampir terurut.
- Pada kasus terbaik, insertion sort bekerja dalam  $O(N)$ , yaitu ketika data sudah terurut.
- Pada kasus terburuk, kompleksitasnya  $O(N^2)$ .
- Secara rata-rata, kompleksitasnya adalah  $O(N^2)$ .



# Contoh Kode

---

```
for i := 1 to N do begin
    pos := i;

    (* selama belum tepat, giring ke belakang *)
    while ((pos > 1) and (h[pos] < h[pos-1])) do begin
        swap(h[pos], h[pos-1]);
    end;
end;
```

---



## Kegunaan Lain

- Strategi *insertion* pada algoritma ini dapat digunakan untuk menambahkan sebuah elemen pada data yang sudah terurut.
- Ketimbang mengurutkan kembali seluruh elemen, cukup lakukan strategi *insertion* yang secara rata-rata bekerja dalam  $O(N)$ .



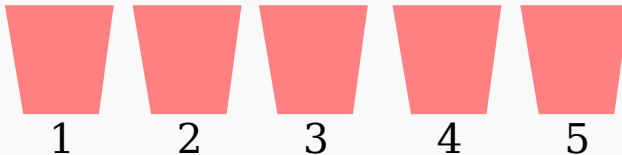
## Bagian 4

# Counting Sort



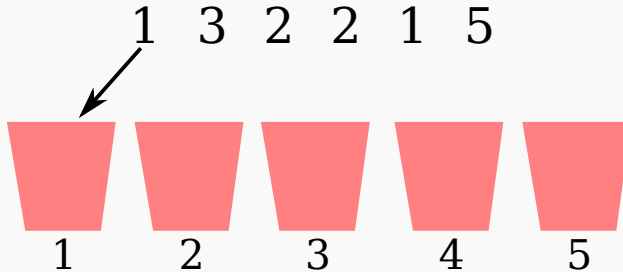
## Ide Dasar

- Misalkan kita memiliki  $M$  ember.
- Setiap ember dinomori dengan sebuah angka, yaitu mulai dari 1 sampai dengan  $M$ .
- Sebagai contoh, anggap  $M = 5$ .



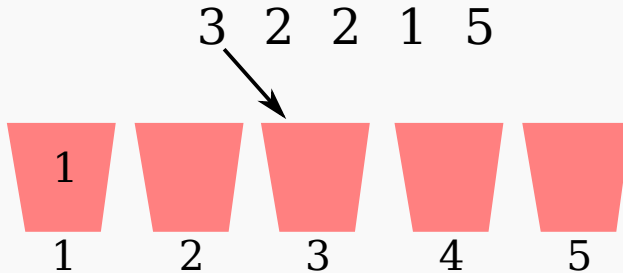
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



## Ide Dasar (lanj.)

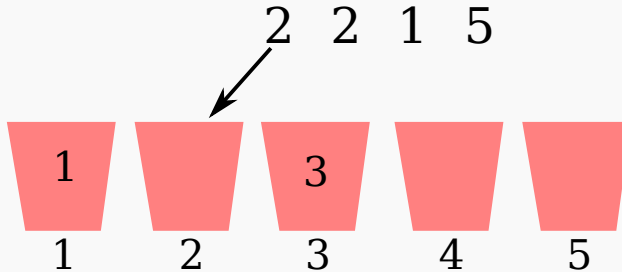
- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.





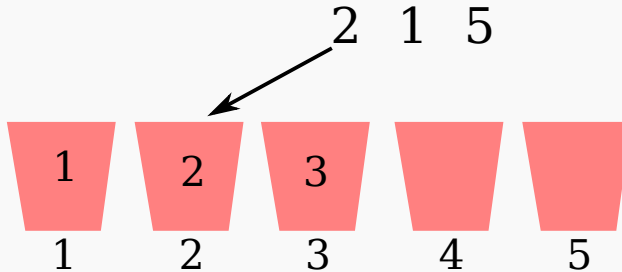
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



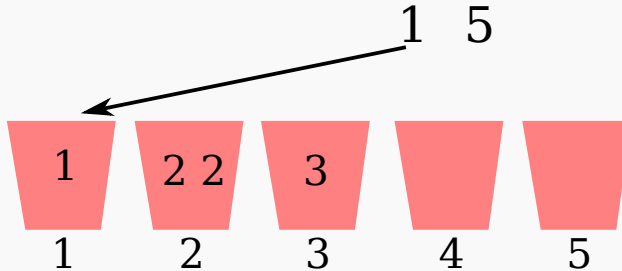
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



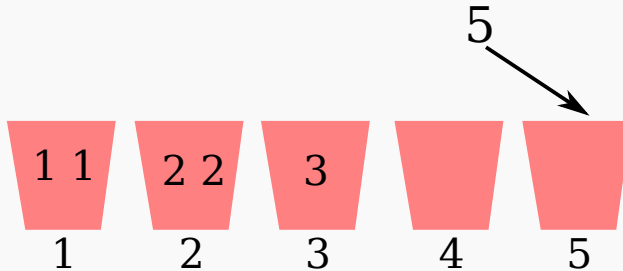
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



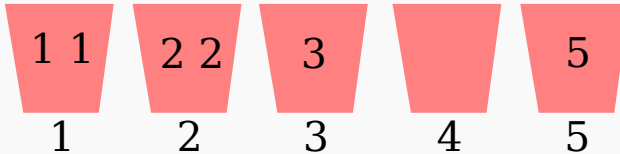
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



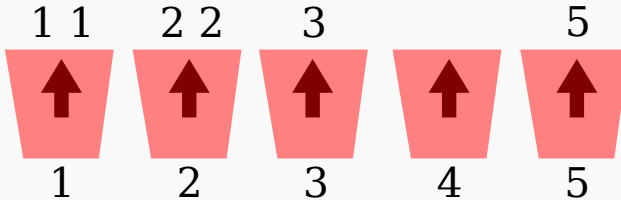
## Ide Dasar (lanj.)

- Untuk setiap elemen yang mau diurutkan, masukkan ke ember yang sesuai dengan nilai elemen tersebut.



## Ide Dasar (lanj.)

- Setelah seluruh elemen dimasukkan ke ember yang bersesuaian, keluarkan isi ember-ember mulai dari ember 1 sampai  $M$  secara berurutan.



## Ide Dasar (lanj.)

- Kini didapatkan data yang telah terurut.

1   1   2   2   3   5

# Implementasi

- Ide ini dapat diwujudkan dengan menyiapkan tabel frekuensi yang berperan sebagai ember.
- Untuk setiap nilai elemen yang mungkin, catat frekuensi kemunculannya.
- Terakhir, iterasi tabel frekuensi dari elemen terkecil sampai elemen terbesar.





## Contoh Kode

- Tabel frekuensi dapat diimplementasikan dengan array sederhana.

---

```
var
  ftable: array[1..100000] of longint;
  ...

begin
  ...

  (* catat frekuensinya *)
  for i := 1 to N do begin
    x := h[i];
    ftable[x] := ftable[x] + 1;
  end;
```

---



## Contoh Kode (lanj.)

---

```
(* tuang kembali ke h[] *)
index := 1;
for i := 1 to 100000 do begin
    for j := 1 to ftable[i] do begin
        h[index] := i; (* timpa h[] dengan data terurut *)
        index := index + 1;
    end;
end;

...
end.
```

---



# Analisis

- Dapat diperhatikan bahwa kompleksitas counting sort adalah  $O(N + M)$ , dengan  $M$  adalah rentang nilai data.
- Jika  $M$  tidak terlalu besar, maka counting sort dapat bekerja dengan sangat cepat.
- Lebih tepatnya, counting sort merupakan opsi yang sangat baik jika datanya memiliki rentang yang kecil, misalnya data tentang usia penduduk yang rentangnya hanya  $[0, 125]$ .
- Bandingkan dengan algoritma pengurutan lain yang kompleksitasnya  $O(N^2)$ !



# Kekurangan

- Karena perlu membuat tabel frekuensi, maka counting sort hanya dapat digunakan ketika rentang nilai datanya kecil, misalnya  $\leq 10^7$ .
- Selain itu, algoritma ini hanya dapat mengurutkan data diskret. Data seperti bilangan pecahan tidak dapat diurutkan secara tepat.



# Pengembangan Counting Sort

- Dengan adanya keterbatasan ini, counting sort dikembangkan menjadi radix sort.
- Pembelajaran tentang radix sort akan dilakukan pada kesempatan yang lain.
- Bila Anda tertarik, Anda dapat mempelajarinya **di sini**.



## Rangkuman

Algoritma	Kompleksitas	Keterangan
Bubble Sort	$O(N^2)$	-
Selection Sort	$O(N^2)$	Dapat digunakan untuk <i>partial sort</i> dalam $O(KN)$
Insertion Sort	$O(N^2)$	Sangat cepat jika data hampir terurut, kasus terbaiknya $O(N)$
Counting Sort	$O(N + M)$	Cepat hanya untuk data dengan rentang yang kecil



# Catatan

- Terdapat algoritma pengurutan yang lebih efisien, misalnya Quicksort dan Merge Sort.
- Algoritma pengurutan lanjut akan dipelajari pada kesempatan yang lain.

