

# PENGEMBANGAN SANDPILE MODEL UNTUK MEMPREDIKSI SISTEM YANG DALAM KONDISI CHAOTIC

Saiful Bukhori

Dosen Universitas Jember

Jl. Kalimantan No.37 Kampus Tegal Boto Jember 68121

**ABSTRAK:** Keadaan chaotic atau dalam ilmu fisika disebut sebagai dynamic system merupakan kondisi dimana sistem selalu berkembang. Pada sistem yang memiliki kondisi chaotic ini dibutuhkan metode yang cukup rumit untuk memprediksi kondisi yang akan datang, padahal prediksi merupakan kebutuhan yang sangat penting untuk menentukan suatu keputusan yang diambil suatu perusahaan atau organisasi yang berpengaruh pada kondisi yang direncanakan. Keadaan chaotic ini juga terjadi apabila suatu perusahaan atau organisasi akan meluncurkan produk baru atau fitur tambahan dari suatu produk yang sudah ada. Peluncuran suatu produk baru atau fitur tambahan dari produk yang sudah ada tidak hanya mempengaruhi produk yang akan diluncurkan, akan tetapi juga mempengaruhi produk yang sudah ada. Sandpile model merupakan algoritma yang dibuat dengan mengilustrasikan prinsip bagaimana perilaku sandpile pada real-life. Pada penelitian ini dikembangkan sandpile model untuk memecahkan keadaan chaotic pada saat perusahaan atau organisasi akan meluncurkan produk baru atau fitur tambahan dari suatu produk yang sudah ada. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa algoritma sandpile model merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk memprediksi sistem yang dalam kondisi chaotic dengan memperhatikan parameter add inside, parameter rounds dan parameter Surface.

**Kata kunci:** Sandpile model, parameter add inside, parameter rounds, parameter surface.

**ABSTRACT:** Chaotic condition or dynamic system (in physics) is a condition that a system always grows. In a system that has chaotic condition, a method to predict the future condition is needed. This method is important to support the decision for industry or organization. Chaotic condition also has happened in the industry or organizations that will launch a new product. Launching the new product not only influence this new product but also influence the product in the market. Sand pile model is an algorithm that designed with illustration of sand pile in the real life. In this research a sand pile model for solved the chaotic condition is developed. The result of this research shows that sand pile model algorithm can be used to solve the chaotic condition with pay attention of add inside, rounds and surface parameters.

**Keywords:** Sand pile model, add parameter, inside parameter, rounds parameter, surface parameter

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Kondisi *chaotic* atau dalam ilmu fisika disebut *dynamic system* merupakan kondisi dimana sistem yang selalu berkembang. Pada sistem yang memiliki kondisi *chaotic* ini dibutuhkan metode yang cukup rumit untuk memprediksi kondisi yang akan datang, padahal prediksi merupakan kebutuhan yang sangat penting untuk menentukan suatu keputusan yang diambil suatu perusahaan.

Keadaan *chaotic* dari suatu sistem lebih banyak disebabkan oleh kondisi awal dan rule yang dinamik yang sulit untuk ditentukan secara akurat sehingga berpengaruh dalam menentukan prediksi kondisi selanjutnya.

Walaupun kondisi awal sulit ditentukan secara akurat, kondisi ini akan mempengaruhi bagaimana sistem berkembang selanjutnya, ini berarti bahwa

sistem tidak benar-benar tumbuh secara eksponensial. Dengan kondisi pertumbuhan yang tidak benar-benar secara eksponensial tersebut maka prediksi untuk melihat langkah selanjutnya merupakan kegiatan yang menarik untuk diteliti.

*Sandpile model* merupakan algoritma yang dibuat dengan mengilustrasikan prinsip bagaimana perilaku *sandpile* pada *real-life*. Pada penelitian ini dikembangkan *sandpile model* untuk memecahkan permasalahan yang dalam keadaan *chaotic*.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah ditekankan pada pengembangan algoritma sandpile model dengan mendesain dan memodifikasi algoritma *sandpile model* yang sudah dikembangkan, sehingga dapat digunakan memprediksi sistem yang dalam kondisi *chaotic*.

## Tujuan

Tujuan utama yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah Membangun sebuah algoritma yang merupakan pengembangan dari *sandpile model* yang dapat memprediksi pada sistem yang dalam kondisi *chaotic* dengan menggunakan konsep *Complex Adaptive system*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Prediksi Sistem Dalam Kondisi *Chaotic*

Prediksi merupakan salah satu dari jenis Data mining apabila penggolongannya berdasarkan pada kegunaannya. Prediksi (*Prediction*) atau sering disebut dengan peramalan pada intinya sama dengan klasifikasi atau estimasi tetapi lebih mengarah pada nilai-nilai pada masa yang akan datang.

Dalam peramalan data yang diproses adalah data historis yang digunakan sebagai data bahan acuan ditambah dengan data-data simulasi yang dapat diubah-ubah sesuai dengan kemungkinan-kemungkinan yang dapat terjadi. Contoh dari peramalan ini misalnya untuk memprediksi berapa besar animo customer pada produk baru yang berupa fasilitas baru yang akan ditawarkan oleh sebuah perusahaan jasa.

Peramalan yang dilakukan pada sistem yang dalam keadaan *chaotic* merupakan persoalan yang sangat menarik untuk diteliti. Keadaan *chaotic* yang dapat didefinisikan dalam ilmu fisika sebagai *dynamic system* yang secara lebih jauh merupakan sistem yang selalu berkembang adalah kondisi sistem yang keadaan selanjutnya tidak dapat diprediksi dengan mudah. sebab kondisi awal dan *rule* yang dinamik dan tidak dapat ditentukan secara akurat.

Walaupun kondisi awal tidak dapat ditentukan secara akurat, kondisi ini akan mempengaruhi bagaimana sistem akan berkembang, ini berarti bahwa sistem tidak benar-benar tumbuh secara eksponensial, seperti perubahan sistem yang dibayangkan. Dengan kata lain bahwa lebih menguntungkan apabila sistem diprediksi untuk melihat langkah selanjutnya.

### Proses Prediksi

Prediksi merupakan salah satu dari jenis data mining, sehingga untuk membuat prediksi proses yang dilakukan sama dengan proses yang dilakukan oleh jenis data mining lainnya yang meliputi tiga tahapan utama yaitu *data preparation*, *Datamining algorithm* dan *Data analysis*. Ketiga tahapan tersebut akan dijelaskan sebagai berikut [2].

a) *Data Preparation* sering diartikan sebagai penggosokan data (*Scrubbing the data*) yang meliputi

dari penyeleksian, pembersihan dan pemrosesan awal.

- b) *Datamining algorithm* atau Algoritma data mining digunakan untuk pemrosesan data yang telah disiapkan, mengkompresi dan mentransformasikannya sehingga menjadi lebih mudah untuk diidentifikasi beberapa informasi yang berarti.
- c) Tahapan ketiga adalah tahapan *Data analysis* atau analisis data, keluaran data mining dievaluasi untuk melihat apakah ada penambahan informasi yang ditemukan dan untuk menentukan pentingnya fakta yang dihasilkan oleh algoritma data mining.

### *Complex Adaptive System*

*Complex Adaptive System* merupakan solusi yang akan menjawab sehubungan dengan sistem yang dalam keadaan *chaotic* yang dapat didefinisikan dalam ilmu fisika sebagai *dynamic system* yang secara lebih jauh merupakan sistem yang selalu berkembang dimana pada sistem ini keadaan selanjutnya tidak dapat diprediksi dengan mudah, sebab kondisi awal dan *rule* yang dinamik tidak dapat ditentukan secara akurat.

Walaupun kondisi awal tidak dapat ditentukan secara akurat, kondisi ini akan mempengaruhi bagaimana sistem berkembang, ini berarti bahwa sistem tidak benar-benar tumbuh secara eksponensial, seperti perubahan sistem yang dibayangkan, dengan kata lain bahwa lebih menguntungkan apabila sistem diprediksi untuk melihat langkah selanjutnya.

Untuk memprediksi kondisi selanjutnya diperlukan informasi lebih lanjut tentang kondisi awal dan *rule* yang dibutuhkan, sejumlah informasi yang dibutuhkan pertumbuhannya secara eksponensial, hal ini yang sering membuat pekerjaan lebih panjang untuk memprediksi keadaan yang sebenarnya tidak memungkinkan, sehingga tidak dapat dikumpulkan informasi yang cukup.

Pada *Complex Adaptive System* ketidakakuratan dari prediksi ini tidak tumbuh secara eksponensial dengan *power law* akan tetapi lebih lambat. *Complex Adaptive System* berbeda dengan *chaotic system* yang lainnya dimana memiliki kemampuan untuk mengatur sendiri yang berarti bahwa mereka mengembangkan batas dari keadaan *chaotic*.

Atribut yang khusus dari *Complex Adaptive System* adalah seperti bagaimana sistem mengembangkan untuk mengorganisir dirinya sendiri pada kondisi batas faktor kritis. Apabila kondisi sebuah elemen dalam sistem mencapai nilai elemen yang akan mengubah keadaannya, dimana dalam perputaran keadaan akan sering mempengaruhi keadaan

elemen lain, maka satu atau lebih elemen mungkin akan mentrigger reaksi yang berantai. Sesudah elemen diselesaikan dalam kondisi yang baru pada sistem tersebut, maka sistem akan diorganisir dalam langkah yang baru

### Asumsi Sandpile Model

Kunci utama dalam penelitian Artificial Intelligence adalah mengacu pada hal yang disebut dengan hipotesis simbol sistem secara fisik. Newel dan Simon (1976) mendefinisikan *physical symbol system* sebagai berikut : *Physical symbol system* terdiri dari sekumpulan *entity* yang disebut simbol dimana pola fisiknya dapat terdiri dari komponen-komponen tipe lain dari *entity* yang disebut dengan ekspresi atau struktur simbol. Sedangkan struktur simbol terbentuk dari beberapa hal dari simbol secara fisik. Pada suatu saat sistem terdiri dari kumpulan dari struktur simbol . Di samping struktur ini, sistem juga berisi kumpulan proses yang mengoperasikan ekspresi untuk menghasilkan ekspresi yang lain melalui proses pembentukan, pemodifikasian, pembentukan kembali dan pengrusakan. *Physical symbol system* adalah mesin yang menghasilkan secara terus menerus susunan koleksi struktur simbol. Kemudian didefinisikan *hypothesis* sebagai berikut "The physical symbol system hypothesis adalah A physical symbol system yang memiliki kebutuhan dan kecukupan maksudnya aktifitas intelligent secara umum.

Hipotesis nampaknya bukanlah cara untuk memecahkan atau tidak memecahkan permasalahan berdasarkan logika, untuk validasi diperlukan validasi secara empiric, bagian terbesar dari fakta yang ditemukan mungkin benar, tetapi dengan cara eksperimen fakta tersebut dapat dinyatakan benar.

*Sandpile Model* mengacu pada model yang relatif mudah, Model ini menyerupai bagaimana perilaku *sandpile* pada kenyataannya. Ketika ditambahkan butiran pada gundukan pasir, gundukan akan tumbuh secara cepat, akan tetapi pada waktu tertentu butiran yang ditambahkan akan jatuh ke bawah batas samping gundukan pasir tersebut yang menyebabkan banyak butiran tetangganya jatuh juga.

Ide yang sulit direpresentasikan pada *real life* adalah ketika butiran pasir akan jatuh dan ketika butiran tersebut akan ditinggalkan dimana ia jatuh. Bagaimana dapat diperoleh rule yang umum yang akan diterapkan pada gundukan pasir tersebut secara keseluruhan.

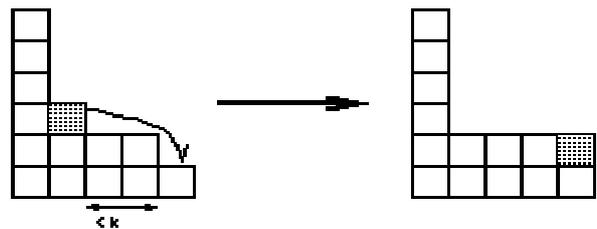
Ada tiga group model sandpile yang sering diterapkan yaitu: (1) *Critical Height Model* (2) *Critical Slope Model* (3) *Critical Laplacian Model*.

### PEMBAHASAN

### Desain Algoritma Sandpile Model Menggunakan Konsep Complex Adaptive System

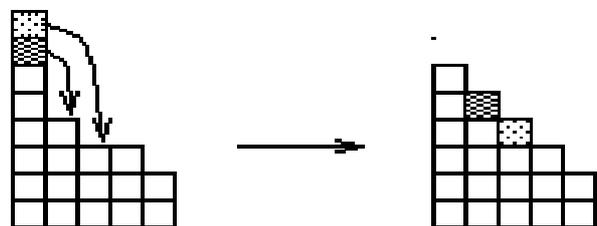
Desain algoritma *sandpile model* ini memakai konsep *Complex Adaptive System*. Pembahasan pada bagian ini akan dibuat skenario dari permasalahan yang sederhana sehingga diharapkan dapat mempermudah dalam penyusunan perangkat lunak yang dibuat.

Contoh yang diambil dalam permasalahan ini dengan menggunakan *lattice* (8). Apabila ditinjau dari hasil survey pustaka maka ada dua aturan yang dibuat yaitu aturan 1 yang menitik beratkan pada pergerakan butiran *sand* pada arah vertikal dan aturan 2 yang menitik beratkan pada pergerakan butiran *sand* secara horizontal. Karena kompleksitas dari permasalahan sistem yang dalam kondisi *chaotic*, maka selain menerapkan aturan 1 dan aturan 2 tersebut, maka perlu ditambahkan konstrain yang mengatur jarak antara dua kolom yang berpengaruh dengan jarak lebih kecil dari  $k$ . seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengembangan Aturan 1 dari Sandpile Model

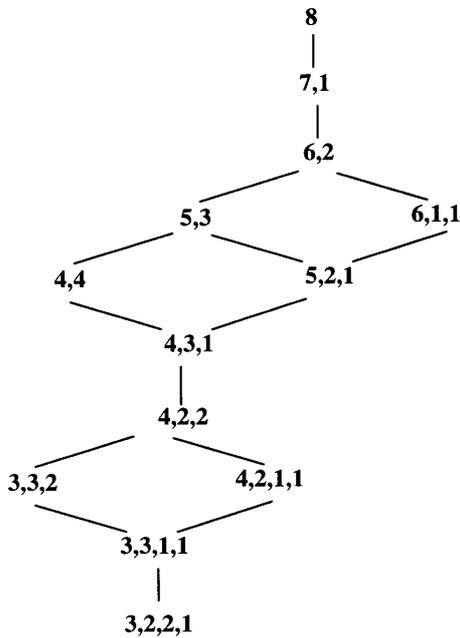
Selain dari pergerakan butiran *sand* dari kolom ke kolom berikutnya, jumlah butiran *sand* yang bergerak juga dimodifikasi sehingga didapatkan pengembangan aturan 2 dengan menggerakkan  $m$  butiran *sand* pada  $m$  kolom terdekat seperti dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pengembangan Aturan 2 dari Sandpile Model

Hampir semua model yang akan diselesaikan memiliki struktur *lattice*. Untuk permasalahan dengan  $n = 8$ , apabila diselesaikan dengan menggunakan *sandpile* yang standard dengan menggunakan dua aturan horizontal dan vertikal akan didapatkan

penyelesaian dengan proses seperti dalam diagram Gambar 3.

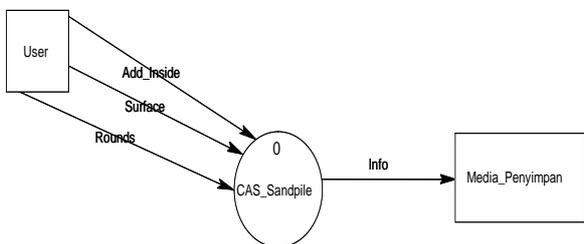


Gambar 3. Penyelesaian dengan Permasalahan n=8 dengan Sandpile Model Standard

**Perancangan**

Secara garis besar, pemrograman perangkat lunak untuk penelitian desain sandpile model untuk memprediksi sistem yang dalam kondisi chaotic ini dibagi dalam tiga bagian besar yaitu: (a) Proses pemasukan data, (b) Proses algoritma sandpile model dan (c) Proses penayangan hasil.

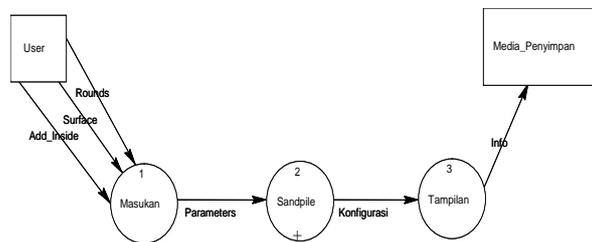
Susunan alir data untuk perangkat lunak yang dibuat adalah seperti yang digambarkan pada gambar di bawah ini yang diawali dari diagram alir data level 0 sampai dengan level 2.



Gambar 4. Diagram Alir Data Level 0

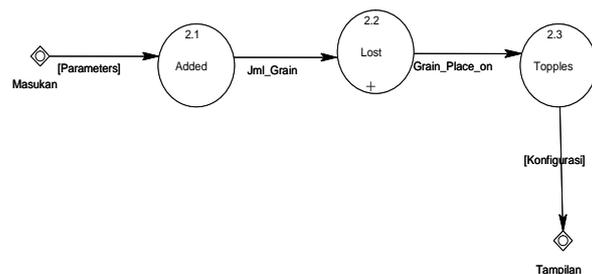
Proses prediksi pada sistem yang dalam kondisi chaotic dengan menggunakan algoritma sandpile model ini memerlukan tiga macam data masukan yaitu data parameter surface, data parameter add inside dan data parameter rounds. Ketiga data parameter tersebut telah dijelaskan

pada bagian sebelumnya. Hasil prses dari proses prediksi pada sistem yang dalam kondisi chaotic dengan menggunakan algoritma sandpile model ini berupa informasi tentang added, informasi tentang last dan informasi tentang toppled yang dapat disimpan pada sebuah media penyimpanan apabila prediksi tersebut sudah merupakan informasi yang berarti untuk pengambilan keputusan pada masa yang akan datang. Detail dari proses prediksi pada sistem yang dalam kondisi chaotic dengan menggunakan algoritma sandpile model ini dapat ditunjukkan seperti dalam gambar DFD level 1 pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Data Level 1

Pada Diagram Alir Data Level 1 terdapat 3 proses utama yang ada pada proses prediksi pada sistem yang dalam kondisi chaotic dengan menggunakan algoritma sandpile model yaitu proses masukan, proses algoritma sandpile dan proses penampilan. Proses masukan berasal dari data masukan yang diberikan oleh user sehingga didapatkan angka-angka untuk surface, add\_inside dan rounds yang merupakan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk proses algoritma sandpile. Kemudian dari hasil proses masukan tersebut digunakan untuk proses algoritma sandpile dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan. Dari hasil proses algoritma sandpile tersebut untuk mengetahui informasi tentang prediksi pada sistem yang dalam kondisi chaotic maka diperlukan proses penayangan dengan menggunakan antarmuka keluaran. Detail dari proses algoritma sandpile dapat ditunjukkan seperti dalam gambar DFD level 2 pada Gambar 6



Gambar 6. Diagram Alir Data Level 2

Pada Diagram Alir Data Level 2 untuk proses algoritma *sandpile* terdapat 3 proses sesuai dengan struktur algoritma *sandpile* yang dibuat sesuai dengan domain yang dijadikan fokus pada penelitian ini untuk tentang prediksi pada sistem yang dalam kondisi *chaotic*. Proses-proses tersebut yaitu: (a) Proses *added*.(b) Proses *lost*.(c) Proses *topples*.

### Uji Coba

Unjuk kerja algoritma sangat dipengaruhi oleh parameter yang digunakan dan nilai-nilai yang dimasukkan terhadap parameter tersebut. Dalam Tabel 1 diperlihatkan hasil dengan berbagai kemungkinan parameter yang digunakan. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa parameter-parameter yang berpengaruh terhadap kinerja algoritma *sandpile* dalam penyelesaian permasalahan yang dalam kondisi *chaotic* adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi parameter *Add Inside* dan parameter *Rounds* yang tetap dan parameter *Surface* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Surface* maka parameter *Lost* yang dihasilkan akan semakin tinggi dan parameter *toppled* mengalami perubahan yang tidak stabil sehingga untuk menghasilkan nilai *Toppled* yang tinggi diperlukan uji coba yang banyak.
- Pada kondisi parameter *Surface* dan parameter *Rounds* yang tetap dan parameter *Add Inside* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Add Inside* maka parameter *Toppled* yang dihasilkan akan semakin tinggi.
- Pada kondisi parameter *Add Inside* dan parameter *Surface* yang tetap dan parameter *Rounds* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Rounds* maka parameter *Toppled* yang dihasilkan akan semakin rendah.

**Tabel 1. Data Hasil Uji Coba**

SURFACE	ADD IN SIDE	ROUNDS	ADDED	LOST	TOPPLED
9	9	250	250	27	52
10	9	250	250	5	75
11	9	250	250	0	48
12	9	250	250	0	67
13	9	250	250	0	45
12	5	250	250	0	561
12	6	250	250	0	480
12	5	260	260	0	627
12	5	290	290	0	793
12	5	300	300	0	893

### KESIMPULAN

Di bawah ini diberikan beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan sehubungan dengan desain *sandpile model* untuk memprediksi sistem yang dalam kondisi *chaotic*

- a. Algoritma *sandpile model* merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk memprediksi sistem yang dalam kondisi *chaotic*.
- b. Pada kondisi parameter *Add Inside* dan parameter *Rounds* yang tetap dan parameter *Surface* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Surface* maka parameter *Lost* yang dihasilkan akan semakin tinggi dan parameter *toppled* mengalami perubahan yang tidak stabil, sehingga untuk menghasilkan nilai *Toppled* yang tinggi diperlukan uji coba yang banyak.
- c. Pada kondisi parameter *Surface* dan parameter *Rounds* yang tetap dan parameter *Add Inside* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Add Inside* maka parameter *Toppled* yang dihasilkan akan semakin tinggi seperti.
- d. Pada kondisi parameter *Add Inside* dan parameter *Surface* yang tetap dan parameter *Rounds* diubah-ubah, maka semakin rendah nilai parameter *Rounds* maka parameter *Toppled* yang dihasilkan akan semakin rendah pula.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Angela Kerns, *The Basic Sandpile Model*, EST IRIDIA, <ftp://iridia.ulb.ac.be/pub/angela/journals>, 1996.
2. Bigus P. Joseph, *Data mining with Neural Networks: solving business problem form Application Development to Decision Support*, McGraw-Hill, 1996.
3. Cratochvil Anda, *Data Mining Techniques in Supporting Decision Making*, Universiteit Leiden, <http://www.Ainet-sp.si.vti.bin.shtml.dll/education.html>, 1999.
4. Elaine Rich, *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1991.
5. Leigh Tesfatsion, *Comparing and Contrasting Bak's Sandpile Model and schelling city model*, ECON 308X <ftp://iridia.ulb.ac.be/pub/leightjournals>, 2003.
6. Linoff Gordon, Berry Michael JA, *Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Support*, Wiley Computer Publishing, 1997.