

GAGASAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION DALAM AL-QUR'AN

Taufiq Aji *Abstract*

*Staf Pengajar Program
Studi Teknik Industri,
Fakultas Sains dan
Teknologi, UIN Sunan
Kalijaga.*

Qoran as a source of knowledge has been inspiring many things in human life. Its divine revelation has strong endurance to face the condition of scientific development. This paper try to elaborate the divine message on a bird, based on Qoranic statement, that is applied in constructing a nature-based algorithm called Particle Swarm Optimization (PSO). The explanation extend from introducing the history of PSO, Qoran inspiration in PSO, basic optimization concept in Qoran, PSO in detail, and the simulation of the technique. From the explanation we may proof that Qoran as a divine revelation can align with scientific issue such as the technique.

Kata kunci: wahyu ketuhanan, algoritma berbasis-alamiah, optimisasi, *Particle Swarm Optimization.*

A. Pengantar

Al-Qur'an sebagai sumber ilmu bagi umat manusia telah menginspirasi atau sesuai dengan apa yang telah ditemukan oleh manusia sampai sejauh ini. Ini merupakan salah satu pertanda bahwa Al-Qur'an adalah wahyu Tuhan yang terpelihara, tidak akan lekang oleh waktu. Paparan tulisan ini berusaha menjembatani perintah Tuhan untuk memperhatikan tanda-tanda kekuasaan-Nya. Objek yang menjadi kajian adalah *Particle Swarm Optimization* yang terinspirasi oleh perilaku kelompok burung dan kaitannya dengan apa yang diungkapkan oleh Al-Qur'an.

Bahasan pertama pada tulisan ini adalah mengenai inspirasi burung pada Al-Qur'an dan bagaimana mereka berperilaku dalam kelompok. Bahasan kedua adalah tentang inspirasi optimisasi sebagaimana yang tertuang dalam Al-Qur'an. Selanjutnya pada bagian ketiga dibahas mengenai pengertian *swarm* dalam kaitannya dengan perilaku kawanan burung. Bagian keempat membedah rumusan *Particle Swarm Optimization* (PSO) secara lebih mendetail hingga mewujudkannya menjadi sebuah algoritma pencarian solusi. Sedangkan bagian selanjutnya membahas penerapan PSO dan mewujudkannya ke dalam bentuk simulasi sederhana.

B. Inspirasi Perilaku Burung dari Al-Qur'an

Burung merupakan hewan yang dapat dijumpai di belahan dunia manapun. Kemampuan terbang pada burung telah menginspirasi manusia untuk membuat mesin terbang. Dalam hal ini Al-Qur'an telah menyebutkan bahwa kemampuan terbang burung merupakan tanda-tanda kekuasaan Tuhan seperti tertuang dalam Q.S. An-Nahl ayat 79 yang artinya:

Tidaklah mereka memperhatikan burung-burung yang dimudahkan terbang di angkasa bebas. Tidak ada yang menahannya selain daripada Allah. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang beriman¹.

Ayat tersebut sering disitir untuk mengklarifikasi bahwa kemampuan terbang pesawat adalah wujud "*tanda-tanda kebesaran Tuhan*" sebagai bentuk peniruan terhadap burung. Meskipun demikian, tidak dijelaskan apakah "*tanda-tanda kebesaran Tuhan*" tersebut hanyalah untuk menginspirasi manusia agar dapat mengambil pelajaran pada alam sehingga mampu membuat mesin terbang. Jika "*tanda-tanda*" Allah di atas hanya untuk menginspirasi mesin terbang, maka kata burung akan hadir dalam bentuk tunggal. Untuk membuat mesin terbang menyerupai burung tidak memerlukan kehadiran kata burung dalam jumlah jamak.

¹Suatu keajaiban lainnya yang disaksikan sehari-hari oleh manusia, dikemukakan Allah dalam ayat ini, untuk menunjukkan kekuasaan-Nya. Keindahan pemandangan sewaktu burung-burung beterbangan di udara, melayang-layang, kadang-kadang seperti terapung-apung dipermainkan angin adalah pemandangan yang sangat mengesankan ke dalam jiwa orang-orang beriman tentang kebesaran dan keagungan Tuhan. *AlQuran dan Tafsirnya*, Departemen Agama Republik Indonesia, hal. 429.

Selain itu, pada bagian kalimat “*tidak ada yang menahannya selain daripada Allah*” di atas juga tidak menginformasikan melalui apakah Allah menahan burung-burung, dan bagaimanakah posisi penahanan tersebut. Apakah burung ditahan dari bawah sehingga tidak jatuh, ataukah juga ditahan dari berbagai arah. Dapat pula diartikan bahwa burung tersebut ditahan dalam bentuk mempertahankan kecepatan dan arah terbangnya. Cara menahannya pun tidak dijelaskan apakah melalui udara ataukah melalui hal yang lain.

Ilmuwan menguraikan bahwa terdapat beberapa faktor yang menjadikan burung mampu terbang. Antara lain tipikal bentuk tubuh burung yang ramping, sayap lebar yang dilengkapi dengan bulu-bulu serta tulang-tulang berongga. Ada juga kantong-kantong udara yang tersimpan dalam perut menggantung pada paru-paru. Kantong-kantong udara ini akan terisi udara secara otomatis pada saat burung mulai terbang, sehingga badan burung yang demikian berat akan berkurang².



Gambar 1. Salah satu bentuk kawanan (*swarm*) burung

Saat burung melakukan terbang, terdapat kemungkinan keadaan dimana burung akan kesulitan mengkoordinasikan terbangnya, yaitu saat burung-burung berada dalam kelompok yang besar. Kondisi tersebut mungkin menjadi lebih sulit apabila kelompok tersebut berhadapan dengan bahaya misalnya burung pemangsa. Tetapi kenyataan berkata lain, dengan tidak pernah ditemukannya burung-burung yang saling bertabrakan karena panik dan kemudian berjatuhan. “*Burung-*

² Quraish Shihab, *Tafsir Al-Misbbab, Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*, Cet. I, (Jakarta: Lentera Hati, 2002/1423), Vol. 7: 305-307.

burung” tersebut “dimudahkan terbang” oleh Allah saat berada dalam kerumunan. Kemudahan terbang dalam kerumunan ini oleh karena ditahan oleh sunnatullah melalui suatu aturan terbang dalam kelompok. Aturan terbang dalam kerumunan tersebut sejalan dengan penyebutan ketundukan burung pada aturan Allah saat berkerumun seperti pada Q.S. Shaad ayat 18-19 yang artinya sebagai berikut:

Sesungguhnya Kami menundukkan gunung-gunung untuk bertasbih bersama dia (Daud) di waktu petang dan pagi, dan (Kami tundukkan pula) burung-burung dalam keadaan terkumpul. Masing-masingnya amat taat kepada Allah³.

dan Q.S. An Nuur ayat 41 yang artinya sebagai berikut:

Tidaklah kamu tahu bahwasanya Allah: kepada-Nya bertasbih apa yang di langit dan di bumi dan (juga) burung dengan mengembangkan sayapnya. Masing-masing telah mengetahui (cara) sembahyang dan tasbihnya, dan Allah Maha Mengetahui apa yang mereka kerjakan⁴.

Keteraturan formasi kawanan burung saat terbang mengikuti kriteria-kriteria perilaku kawanan burung sesuai kondisi alamiahnya sebagai berikut⁵:

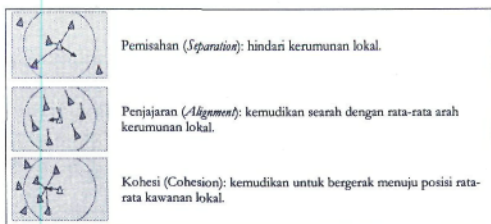
- Seluruh burung pada kawanan harus mengikuti jalur yang sama. Perubahan arah terbang dilakukan secara perlahan (*smoothly*) dan sinkron (*synchronously*) untuk semua burung dalam kawanan.
- Semua burung harus berada dalam jarak aman (*fair*) yang saling berdekatan tetapi tidak saling bersentuhan.
- Jika suatu kawanan harus terpecah atau terganggu (*disrupted or split*) menjadi dua atau beberapa kawanan yang lebih kecil karena melewati rintangan, maka sesegera mungkin akan bergabung kembali.
- Setiap anggota kawanan dapat memicu perubahan arah terbang.
- Perilaku burung secara individu pada kawanan tidak bergantung pada keseluruhan jumlah burung pada kawanan.

³ *Al-Qur'an dan Terjemahannya* (2003), diambil dari http://geocities.com/alAl-Qur'an_indo

⁴ *Ibid.*

⁵ Helmut Lorek dan Matthew White, *Parallel Bird Flocking Simulation*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/793/http://zSzzSzchaplin.informatik.uni-oldenburg.dezSzabteilungsinfozSzprojektezSzEcoToolszSzberichtezSzedinburgh93zSzpaper.pdf/lorek93parallel.pdf>

Aturan yang lebih formal mengenai perilaku kerumunan burung-burung tersebut telah dirumuskan oleh Reynolds, dimana burung-burung dipandang sebagai *boids* yang dikarakterisasi oleh jarak dan sudut terbangnya⁶, sebagai berikut:



Gambar 2. Aturan boids pada kerumunan oleh Reynolds

Selain tiga aturan di atas, terdapat bentuk representasi lain tentang ciri-ciri utama perilaku kolektif pada kawanan burung sebagai entitas tunggal yang koheren⁷, sebagai berikut:

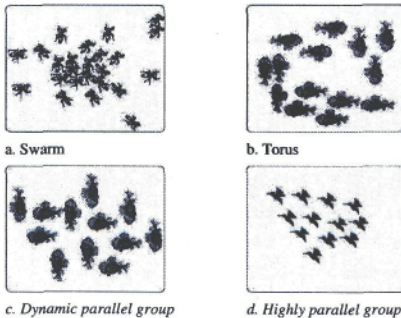
- a. *Homogeneity*: setiap burung pada kawanan mempunyai model perilaku yang sama. Kawanan tersebut bergerak tanpa pemimpin, meskipun terkadang muncul pemimpin temporer.
- b. *Locality*: setiap anggota kawanan hanya dipengaruhi gerakannya oleh sekitarnya.
- c. *Collision Avoidance*: hindari tabrakan dengan anggota kawanan terdekat.
- d. *Velocity Matching*: sesuaikan kecepatan dengan anggota kawanan terdekat.
- e. *Flock Centering*: pertahankan posisi saling berdekatan dengan anggota kawanan di sekitarnya

⁶ Craig Reynolds, *Boids, Background and Update*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://www.red3d.com/cwr/boids/>.

⁷ Ajith Abraham and others, *Swarm Intelligence Algorithms for Data Clustering*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://www.softcomputing.net/cluster-web.pdf>.



Gambar 3. Ciri-ciri utama perilaku kolektif



Gambar 4. Model-model perilaku kolektif

Lebih lanjut, Couzin mengidentifikasi empat perilaku dinamik kolektif sebagaimana ilustrasi pada Gambar 4. yang dijelaskan sebagai berikut:

- b. *Swarm*: suatu agregat dengan kohesi, pada level polarisasi yang rendah antar anggota.
- c. *Torus*: individu-individu yang berputar terus-menerus mengelilingi ruang kosong dengan arah putaran yang acak.
- d. *Dynamic parallel group*: individu-individu yang terpolarisasi dan bergerak sebagai suatu kelompok yang koheren, tetapi individu-individu dapat bergerak saling melewati dengan bentuk dan kerapatan yang berfluktuasi.

- e. *Highly parallel group*: berbentuk lebih statis dalam hal pertukaran posisi spasial di dalam kelompok daripada *dynamic parallel group*, dengan variasi bentuk dan kerapatan yang minimal.

Gagasan-gagasan keteraturan perilaku kolektif di atas dapat memicu pertanyaan apakah sebenarnya “tanda-tanda kebesaran Tuhan” itu dapat menjadi inspirasi bagi hal-hal yang lain. Untuk itulah tulisan ini mencoba mengeksplorasi “tanda-tanda kebesaran Tuhan” pada kawanan burung dengan membahas kaitannya terhadap bidang matematika komputasi. Bidang matematika yang dimaksud adalah optimisasi dengan pemecahan masalah menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

C. Optimisasi dan Penerapannya

Optimisasi merupakan cabang matematika yang membicarakan bagaimana menemukan solusi terbaik atas serangkaian solusi layak dalam suatu ruang solusi. Salah satu bidang keilmuan yang banyak menggunakan optimisasi untuk memecahkan permasalahan adalah Teknik Industri, dengan bidang penerapan meliputi manufaktur, perencanaan, hingga manajemen. Secara spesifik sub bahasan penerapannya dapat meliputi perencanaan produksi, perencanaan fasilitas, penjadwalan sumberdaya, pengendalian mesin-mesin, perencanaan kualitas produk, desain produk, desain tempat kerja, perencanaan lokasi, perencanaan transportasi, manajemen rantai pasok, dan sub bahasan yang lainnya.

Suatu permasalahan optimisasi tersusun atas tiga unsur yaitu fungsi tujuan (*objective function*), variabel (*variables*) dan kendala atau pembatas (*constraints*). Suatu nilai akan menjadi solusi terbaik bagi permasalahan apabila ia menghasilkan nilai optimal bagi fungsi tujuan. Nilai solusi diambil dari semesta solusi yang mungkin. Bagi permasalahan optimisasi yang mempunyai pembatas, maka solusi akan dibagi menjadi dua bagian yaitu solusi layak (*feasible solution*) dan solusi tak layak (*unfeasible solution*). Keduanya dipisahkan oleh apa yang dinamakan pembatas (*constraints*).⁸

Berkaitan dengan permasalahan optimisasi, Al-Qur'an telah memberikan rambu-rambu mengenai hal tersebut sebagaimana Q.S. Huud ayat 112 yang artinya:

⁸ Singiresu S. Rao, *Optimization: Theory and Applications*, Wiley Eastern Limited, 1979.

*"Maka tetaplah kamu pada jalan yang benar, sebagaimana diperintahkan kepadamu dan (juga) orang yang telah taubat beserta kamu dan janganlah kamu melampaui batas. Sesungguhnya Dia Maha Melihat apa yang kamu kerjakan"*⁹.

Bila dikaitkan dengan permasalahan optimisasi, maka ayat di atas memerintahkan supaya mengambil jalan hanya pada ruang solusi dan mengambilnya dengan tidak melampaui batas (*constraints*).

"*Tetaplah kamu pada jalan yang benar*" \approx Tetaplah berada pada ruang solusi

"*Janganlah kamu melampaui batas*" \approx Ambil solusi pada ruang solusi yang feasibel dan tidak melampaui pembatas (*constraints*) yang ditetapkan

Lebih jauh tentang fakta pembatas, tersirat dari Q.S. Ar-Rahmaan ayat 7-8 "*Dan Allah telah meninggikan langit dan Dia meletakkan neraca (keadilan). Supaya kamu jangan melampaui batas tentang neraca itu.*"¹⁰. Ayat tersebut mengindikasikan bahwa suatu pembatas sebenarnya telah mempunyai ukuran tertentu atau dapat dikuantifikasi sehingga dapat dibedakan dengan jelas.

D. Apakah *Swarm* itu?

Beberapa jenis organisme (hewan) melakukan kebiasaan berkerumun pada saat mereka bergerak atau menjelajah, yang diistilahkan sebagai *swarm*. *Swarm* adalah kumpulan (populasi) individu yang bergerak seperti tak beraturan dan cenderung mengelompok bersama sementara setiap individu tampak bergerak dengan arah acak¹¹. Definisi lain *swarm* adalah suatu agregat saling kohesi, dengan level polarisasi yang rendah antar anggotanya¹². *Swarm* menggambarkan perilaku

⁹ *Al-Qur'an dan Terjemahannya* (2003), diambil dari http://geocities.com/alAl-Qur'an_indo

¹⁰ *ibid*

¹¹ Russel C. Eberhart, *Introduction to Swarm Intelligence*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://www.cs.bham.ac.uk/~wbl/biblio/gecco2004/TUT027.pdf>.

¹² Ajith Abraham and others, eds., *Swarm Intelligence Algorithms for Data Clustering*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://www.softcomputing.net/cluster-web.pdf>.

kumpulan atau kesatuan organisme dengan ukuran dan orientasi yang serupa, dan biasanya menjelajah dengan arah yang sama. Istilah lain yang sering dipakai untuk menjelaskan terminologi ini adalah *shoaling*, *schooling*, *herd*, dan *flocking* yang tergantung dari penerapan terhadap organisme yang berkerumun¹³.

Organisme yang terlihat sering berkerumun diantaranya semut, ikan, burung, belut, belalang, rayap, lebah dan mikroorganisme seperti halnya bakteri¹⁴. Sejumlah alasan mengapa mereka berkerumun telah diteliti oleh para ahli perilaku sosial hewan. Untuk menggambarkan alasan mengapa organisme-organisme tersebut berkerumun, dapat dijelaskan dengan menggunakan contoh perilaku kerumunan burung dan ikan.

Beberapa jenis burung mempunyai kebiasaan untuk berkerumun. Kebiasaan tersebut sering dilakukan oleh burung-burung dengan kemampuan perlindungan diri yang relatif rendah. Salah satu alasan mereka melakukan hal tersebut adalah sebagai upaya perlindungan diri dan perlawanan terhadap burung yang lebih besar seperti pemangsa¹⁵. Alasan lainnya adalah mereka dapat memperoleh efisiensi aerodinamik saat terbang. Keuntungan aerodinamik ini dapat diamati pada burung-burung penjelajah yang sedang terbang dengan membentuk formasi huruf "V", dimana pemimpin kelompok mengambil posisi di depan dan diikuti oleh kawanan di kanan dan kirinya.

Selain burung, beberapa jenis ikan pun melakukan kebiasaan berkerumun untuk memperoleh manfaat kerumunan. Beberapa spesies ikan mengeluarkan lendir (*slime*) untuk mengurangi friksi air yang melalui badannya. Mereka berenang dalam kerumunan dengan pola mengejut secara akurat dan ekornya yang bergerak secara "to-and-fro" menghasilkan arus mini serupa pusaran air yang dinamakan "vortices". Setiap individu ikan, secara teori dapat menggunakan arus mini dari persekitarannya untuk membantu mengurangi friksi air pada badan mereka. Seperti halnya burung, manfaat lain dari perilaku berkerumun ikan ini adalah sebagai sarana perlindungan diri terhadap predator, dimana fungsi dari kerumunan ini adalah untuk membingungkan

¹³Swarm, diakses 24 Maret 2008 dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm>.

¹⁴*Ibid.*

¹⁵ Lance Winslow, *Why Do Birds Flock*, diakses 26 Maret dari <http://ezinearticles.com/?Why-Do-Birds-Flock?&id=586727>.

predator dan menyembunyikan masing-masing individu ikan di dalam kerumunan¹⁶.

E. Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah suatu teknik optimisasi stokastik yang berbasis populasi. Teknik ini dikembangkan oleh Eberhart dan Kennedy pada tahun 1995, terinspirasi oleh perilaku sosial sekawanan burung dan kerumunan ikan^{17 18}. Walaupun demikian, gagasan awalnya dimulai dengan diciptakannya *Swarm Intelligence* oleh Beny dan Wang pada tahun 1989 dalam konteks robotika seluler¹⁹. PSO memanfaatkan suatu populasi individu untuk memeriksa ruang pencarian. Pada konteks ini, populasi dinamakan *swarm* dan individu dinamakan partikel. Setiap partikel bergerak dengan kecepatan teradaptasi dalam ruang pencarian, dan posisi terbaik yang pernah dikunjungi dicatat pada memori.

PSO mempunyai banyak kemiripan dengan teknik komputasi evolusioner semisal Algoritma Genetika (GA). Sistem diinisialisasi dengan suatu populasi solusi acak dan kemudian mencari solusi optimal dengan memperbarui generasi. Walaupun begitu, tidak seperti GA, PSO tidak mempunyai operator evolusi seperti *crossover* dan mutasi. Pada PSO, solusi potensial yang dinamakan partikel, bergerak sepanjang ruang permasalahan dengan mengikuti partikel optimum saat itu.

Particle Swarm Optimization (PSO) memiliki dua varian berdasarkan skema pertukaran informasi antar partikel.

1. Varian Global: posisi terbaik yang dicapai oleh semua individu pada *swarm* dikomunikasikan pada semua partikel pada tiap iterasi.
2. Varian Lokal: Setiap partikel ditempatkan pada persekitaran (*neighborhood*) yang terdiri atas partikel-partikel yang ditentukan di awal (*prespecified particles*). Pada kasus ini, posisi terbaik yang pernah dicapai partikel dalam persekitaran hanya dikomunikasikan antar anggota persekitaran.

¹⁶ *Fish Schooling*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://seagrant.gso.uri.edu/factsheets/schooling.html>.

¹⁷ Jianli Ding and others, eds., *A Novel Particle Swarm Optimization Applied to Multi-flight Refueling Service Scheduling*, 2006.

¹⁸ *Particle Swarm Optimization*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://www.swarmintelligence.org/>.

¹⁹ *Ibid.*

Penentuan partikel persekitaran dilakukan berdasarkan indeks masing-masing partikel, bukan dari jarak aktual pada ruang pencarian. Hal ini dilakukan demi efisiensi waktu komputasi, karena tidak perlu menghitung jarak Euclidean. Secara gamblang varian global dapat dipandang sebagai generalisasi varian lokal, dimana seluruh *swarm* dipertimbangkan sebagai persekitaran (*neighborhood*) tiap partikel.

Secara singkat proses PSO dimulai dari inialisasi populasi hingga penghentian komputasi, seperti algoritma berikut:

1. Inialisasi populasi (posisi dan kecepatan acak) dalam *hyperspace*.
2. Evaluasi fitness partikel individu.
3. Modifikasi kecepatan berdasarkan terbaik sebelumnya (*previous best: pbest*) dan terbaik global atau lokal (*global or neighborhood best: gbest or lbest*).
4. Hentikan berdasarkan beberapa kondisi.
5. Kembali ke langkah [2].

Setiap partikel menyesuaikan koordinatnya dengan mengasosiasikannya terhadap solusi terbaik (*pbest*) yang diperoleh. Persamaan-persamaan di bawah ini digunakan untuk melakukan adaptasi partikel dengan asumsi untuk penyelesaian permasalahan minimisasi dengan f adalah fungsi suai (*fitness function*).

Persamaan (1) menjelaskan adaptasi kecepatan suatu partikel i pada dimensi j saat $t+1$.

$$v_{ij}(t+1) = v_{ij}(t) + c_1 r_{1j}(t) [y_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 r_{2j}(t) [y_j(t) - x_{ij}(t)] \quad (1)$$

Persamaan (2) menjelaskan adaptasi posisi suatu partikel i pada dimensi j saat $t+1$.

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2)$$

Posisi terbaik suatu personal partikel saat $t+1$ diberikan oleh persamaan (3)

$$y_{ij}(t+1) = \begin{cases} y_{ij}(t) & \text{jika } f(x_{ij}(t+1)) \geq f(y_{ij}(t)) \\ x_{ij}(t+1) & \text{jika } f(x_{ij}(t+1)) < f(y_{ij}(t)) \end{cases} \quad (3)$$

Posisi terbaik global pada saat t diberikan oleh persamaan (4)

$$\hat{y}(t) \in \{y_0(t), \dots, y_{n_s}(t)\} | f(\hat{y}(t)) = \min \{f(y_0(t), \dots, y_{n_s}(t))\} \quad (4)$$

dimana

- $y_{ij}(t)$: Posisi terbaik partikel i pada dimensi j ($pbest$)
 $v_{ij}(t)$: Kecepatan partikel i pada dimensi j
 $\hat{y}_j(t)$: Posisi terbaik swarm ($gbest$)
 $x_{ij}(t)$: Posisi partikel i pada dimensi j saat t
 c_1 dan c_2 : Konstanta akselerasi (positif) yang digunakan untuk menskalakan kontribusi elemen kognitif dan sosial
 r_{1j} dan r_{2j} : Bilangan acak dari distribusi seragam $[0,1]$, $r \in U(0,1)$
 n_s : Jumlah total partikel pada swarm.

Untuk pengaplikasian teknik PSO pada komputasi maka diperlukan suatu algoritma. Algoritma PSO tersebut secara umum diberikan oleh contoh *pseudocode* varian global berikut:

```
Buat dan inialisasi suatu swarm dengan dimensi
Repeat
  For each particle  $l = 1, \dots, S.n_s$  do
    // set posisi terbaik personal
    If  $f(S.x_l) < f(S.y_l)$  then
       $S.y_l < S.x_l$ ;
    End
    // set position terbaik global
    If  $f(S.y_l) < f(S.g)$  then
       $S.g < S.y_l$ ;
    End
  End
  For each particle  $l = 1, \dots, S.n_s$  do
    Perbarui kecepatan dengan menggunakan persamaan (1);
    Perbarui posisi dengan menggunakan persamaan (2);
  End
Until kondisi bentan = true;
```

Perilaku setiap individu partikel terhadap persekitarannya mengikuti suatu pola-pola tertentu. Masing-masing pola mempunyai keunggulan dan kekurangan sesuai dengan sifat polanya. Di bawah ini disajikan beberapa pola yang dapat mewakili pola interaksi masing-masing partikel:

1. Struktur bintang

Setiap partikel terhubung satu sama lain dalam populasi. Pola interaksi partikel seperti ini sangat cocok untuk pencarian solusi suatu

fungsi unimodal. Pola ini dapat diterapkan pada PSO varian global. Pola ini memiliki kekurangan dalam hal tidak dapat menghindari jebakan minimum lokal.

2. Struktur Cincin

Setiap partikel terhubung dengan sejumlah n tetangga dalam persekitarannya sehingga membentuk cincin. Pola seperti ini dapat diterapkan pada PSO varian lokal. Pada pencarian solusi suatu fungsi multi modal maka pola interaksi ini lebih baik daripada struktur bintang.

3. Struktur Roda

Masing-masing individu dalam suatu persekitaran diisolasi terhadap yang lain dan suatu individu menjadi titik pusat individu lain. Tugas partikel pusat ini adalah memantau performansi partikel yang lain dan menjadi titik pusat bagi interaksi antar partikel yang lain. Sifat dari pola interaksi ini adalah melambatnya laju propagasi solusi dalam populasi. Pengaturan posisi partikel yang menjadi titik pusat adalah dengan cara memposisikannya mendekati posisi terbaik kumpulan individu dan melakukan pengaturan ulang posisi individu lainnya jika posisi individu pusat tersebut lebih baik.

4. Struktur Von Neuman

Pola interaksi ini berbentuk kisi-kisi (*grid*) dengan bentuk totalnya terlihat seperti sebuah kubus.



a. Struktur



b. Struktur Cincin



c. Struktur Roda



d. Struktur Von-Neumann

Gambar 5. Pola interaksi partikel dalam *swarm*

F. Aplikasi dan Simulasi *Particle Swarm Optimization*

Perkembangan PSO sebagai suatu teknik pemecahan masalah optimisasi mengalami perkembangan yang cukup pesat. Berbagai teknik pemecahan masalah yang berbasis PSO telah dikembangkan diantaranya dengan melakukan hibridisasi dengan teknik pencarian lain seperti *tabu search*²⁰ dan relaksasi *Lagrange*²¹. Pengembangan metode yang lebih menyerupai perilaku kawanan nyata pun telah dilakukan dengan pendekatan persepsi individu kawanan²². Selain itu, PSO juga telah diterapkan pada berbagai bidang permasalahan seperti optimisasi non linear terkendala²³, *job shop scheduling*²⁴, pengklasteran data (Abraham, 2005), perencanaan fasilitas²⁵, maupun konstruksi model pengambilan keputusan²⁶. Aplikasi lain PSO dalam berbagai bidang lain sebagaimana telah dirangkum oleh Cui²⁷ diantaranya adalah bidang-bidang berikut:

- Pembangkitan lingkungan virtual interaktif kompleks pada industri film.
- Penyusunan kargo pada perusahaan penerbangan.
- Routing paket pada jaringan telekomunikasi.
- Pengklasteran data, routing data pada jaringan sensor.
- Pengendalian kendaraan tak berawak pada militer USA.

²⁰ David Y. Sha and Cheng Yu Hsu, "A Hybrid Particle Swarm Optimization for Job Shop Scheduling Problem", dalam *Computers & Industrial Engineering*, 2005, Vol. 51, No. 4, hal. 791-808.

²¹ Huseyin Hakan Balci and Jorge F. Valenzuela, "Scheduling Electric Power Generators Using Particle Swarm Optimization Combined With The Lagrangian Relaxation Method", dalam *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 2004, Vol. 14, No. 3, 411-421.

²² Boonserm Kaewkamnerdpong and Peter J. Bentley, "Perceptive Particle Swarm Optimization: An Investigation", dalam *Proceedings of International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms*, 2005.

²³ Xiaohui Hu, X. and Russell Eberhart, *Solving Constrained Non Linear Optimization Problem Using Particle Swarm Optimization*, 2001.

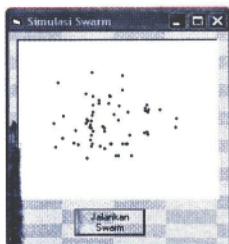
²⁴ David Y. Sha and Cheng Yu Hsu, "A Hybrid Particle Swarm Optimization for Job Shop Scheduling Problem", dalam *Computers & Industrial Engineering*, 2005, Vol. 51, No. 4, hal. 791-808.

²⁵ Andrew Bao Thai, *A Thesis on : Evaluation of Using Swarm Intelligence To Produce Facility Layout Solutions*, 2006.

²⁶ Jovita Nenortaite, "A Particle Swarm Optimization Approach in The Construction of Decision Making Model", dalam *Information Technology and Control*, 2007, Vol. 36, No. 1A.

²⁷ Xiao Cui, *Swarm Intelligence Bio-inspired Emergent Intelligence*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://aser.ornl.gov/cui/workshop/presentation/Swarm%20Intelligence%20Bio-inspired%20Emergent%20Intelligence.pdf>.

Proses pencarian solusi untuk aplikasi permasalahan-permasalahan di atas perlu divisualisasikan untuk memudahkan pemahaman. Untuk itu dibuat suatu simulasi yang menggambarkan bagaimana *Particle Swarm Optimization* bekerja melakukan pencarian dalam ruang solusi. Program simulasi seperti tampak pada Gambar 6. dibuat oleh penulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0.



G. Penutup

Al-Qur'an sebagai sumber ilmu bagi umat manusia telah menginspirasi atau sesuai dengan apa yang telah ditemukan oleh manusia sampai sejauh ini. Hal tersebut merupakan salah satu pertanda bahwa Al-Qur'an adalah wahyu Tuhan yang terpelihara, tidak akan lekang oleh waktu. Paparan tulisan ini telah menghubungkan apa yang diwahyukan Tuhan dalam Al-Qur'an dengan hasil temuan manusia memperhatikan tanda-tanda alam. Ungkapan dari Al-Qur'an untuk memperhatikan tanda-tanda kebesaran Tuhan secara teori dan empiris dapat dibuktikan dengan munculnya Particle Swarm Optimization (PSO) yang terinspirasi dari "*tanda-tanda kekuasaan Tuhan*" pada sekawanan burung. Teknik tersebut dielaborasi mulai dari historisnya, rumusan dasarnya, aplikasi hingga simulasinya.

Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan diantaranya adalah mendetailkan penjelasan tanda-tanda kebesaran dalam Al-Qur'an ke dalam bentuk operasional untuk memperbaiki performansi dan metode *Particle Swarm Optimization* yang telah ada. Selain itu, dapat pula dikembangkan penelitian yang bersifat pengaplikasian PSO ke dalam bidang-bidang selain yang tersebut pada tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Quran dan Tafsirnya*, Departemen Agama Republik Indonesia, 2000.
- Al-Qur'an dan Terjemabannya*, diambil dari <http://geocities.com/alAl-Qur'an indo>.
- Abraham, Ajith and others, *Swarm Intelligence Algorithms for Data Clustering*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://www.softcomputing.net/cluster-web.pdf>.
- Balci, H.H. and Valenzuela J.F., "Scheduling Electric Power Generators Using Particle Swarm Optimization Combined With The Lagrangian Relaxation Method", dalam *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 2004, Vol. 14, No. 3, 411-421.
- Cui, X., *Swarm Intelligence Bio-inspired Emergent Intelligence*. Diakses 24 Maret 2008 dari <http://aser.ornl.gov/cui/workshop/presentation/Swarm%20Intelligence%20Bio-inspired%20Emergent%20Intelligence.pdf>.
- Ding, Jianli and others, eds., *A Novel Particle Swarm Optimization Applied to Multi-flight Refueling Service Scheduling*, 2006.
- Eberhart, R., *Introduction to Swarm Intelligence*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://www.cs.bham.ac.uk/~wbl/biblio/gecco2004/TUT027.pdf>.
- Fish Schooling*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://seagrant.gso.uri.edu/factsheets/schooling.html>.
- Hu, X. and Eberhart R., *Solving Constrained Non Linear Optimization Problem Using Particle Swarm Optimization*, 2001.
- Kaewkamnerdpong B. and Bentley, P.J., "Perceptive Particle Swarm Optimization: An Investigation", dalam *Proceedings of International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms*, 2005.
- Lorek, H. and White M., *Parallel Bird Flocking Simulation*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/793/http%3A%2F%2FzSzczSzcHaplin.informatik.uni-oldenburg.dezSzabteilungsinfozSzprojektezSzEcoToolszSzberichteSzedinburgh93zSzpaper.pdf/lorek93parallel.pdf>.

- Nenortaite, J., "A Particle Swarm Optimization Approach in The Construction of Decision Making Model", dalam *Information Technology and Control*, 2007, Vol. 36, No. 1A.
- Particle Swarm Optimization*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://www.swarmintelligence.org/>.
- Rao, S.S., *Optimization: Theory and Applications*, Wiley Eastern Limited, 1979.
- Reynolds, C., *Boids, Background and Update*, diakses 26 Maret 2008 dari <http://www.red3d.com/cwr/boids/>.
- Sha, D.Y. and Hsu, C.Y., "A Hybrid Particle Swarm Optimization for Job Shop Scheduling Problem", dalam *Computers & Industrial Engineering*, 2005, Vol. 51, No. 4, hal. 791-808.
- Shihab, Q., *Tafsir Al-Mishbah, Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*, Cet. I, (Jakarta: Lentera Hati, 2002/1423), Vol. 7.
- Swarm*, diakses 24 Maret 2008 dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm>.
- Thai, A.B., *A Thesis on : Evaluation of Using Swarm Intelligence To Produce Facility Layout Solutions*, 2006.
- Winslow, L., *Why Do Birds Flock*, diakses 26 Maret dari <http://ezinearticles.com/?Why-Do-Birds-Flock?&id=586727>.