

BAB II

DASAR-DASAR SIMULASI PENCARIAN SUMBER GAS

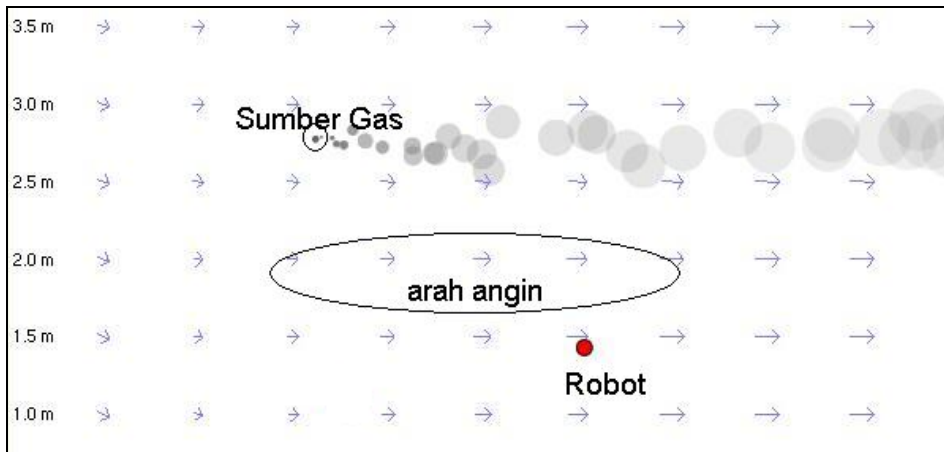
2.1 Permasalahan Pencarian Sumber Gas

Prinsip dasar untuk mencari sumber gas diilhami oleh tingkah laku hewan yang menggunakan indra indranya. Para hewan mampu bertahan hidup dengan ketajaman panca indranya, seperti kelelawar yang menembakkan gelombang suara untuk mengetahui keadaan sekitarnya atau anjing yang menggunakan hidungnya untuk mendeteksi keberadaan makanan.

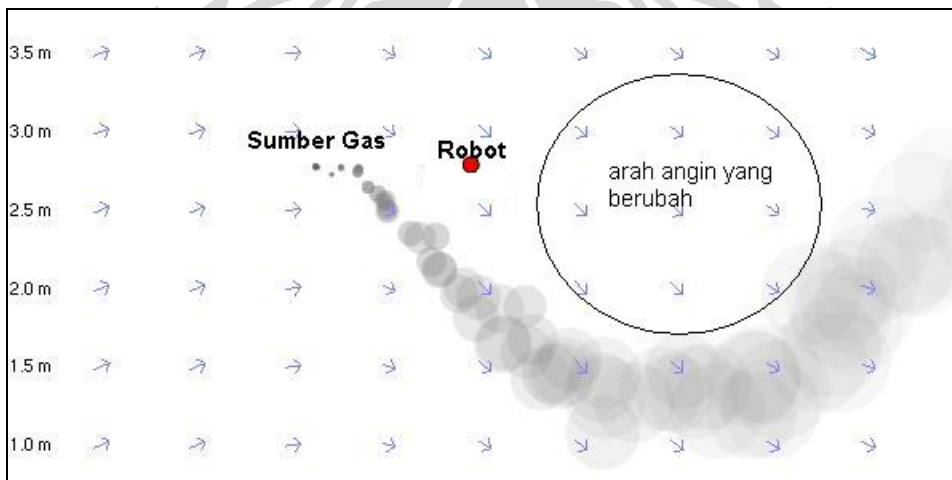
Perilaku hewan untuk mendeteksi lingkungan seperti kelelawar atau anjing merupakan ide awal yang selanjutnya diadaptasi ke dalam mobile robot. Pergerakan robot diatur agar mengikuti proses pergerakan hewan ketika mencium suatu bau sehingga bisa sampai ke sumber bau tersebut. Proses deteksi ini kemudian diadaptasi dalam perilaku robot dengan memanfaatkan sistem sensor yang terpasang di dalam robot sebagai pengganti panca indra yang dimiliki hewan sehingga robot dapat melakukan hal serupa dengan hewan yang ditentukan.

Dalam perkembangan sistem deteksi gas menggunakan robot memunculkan banyak permasalahan yang tidak sederhana. Gas merupakan senyawa kimia yang mudah terurai di udara. Karena struktur gas yang mudah terurai ini maka pada kasus kebocoran gas, semakin dekat dengan sumber kebocoran maka nilai konsentrasi gas semakin tinggi. Hal itu dikarenakan gas yang keluar belum terlalu lama berada di udara bebas sehingga belum banyak terurai. Berdasarkan sifat gas tersebut, Graso et al [3] dalam penelitiannya berhasil menggunakan metode kemotaksis untuk menemukan keberadaan sumber gas. Metode kemotaksis memanfaatkan informasi nilai konsentrasi zat kimia yang terdeteksi sebagai acuan dalam menemukan sumber. Namun dalam aplikasinya, metode kemotaksis belum memberikan hasil yang optimal.

Selain masalah gas yang mudah terurai ternyata angin juga memiliki peranan dalam keberhasilan sebuah robot mendeteksi sumber gas. Kita tahu bahwa di Dunia ini arah angin tidaklah statis melainkan dinamis. Perubahan arah angin secara drastis saat proses pencarian sebuah sumber gas dapat menghambat kinerja robot yang untuk kasus perubahan yang terlalu dinamis dapat membuat robot tidak bisa menemukan sumber kebocoran gas. Contoh kasus robot tidak dapat menemukan sumber kebocoran karena perubahan angin adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Pergerakan angin saat awal



Gambar 2.2 Perubahan gerakan angin

Untuk kasus seperti diatas diasumsikan robot telah menggunakan wind utilities dimana robot akan bergerak semakin kencang ke depan bila gas datang dari arah depan dan sebaliknya akan berbalik arah bila tiba-tiba gas terdeteksi berada dari belakang> Penerapan metode tersebut benar bila arah angin tidak berubah namun untuk arah angin yang berubah tidak dapat menggunakan cara sederhana seperti itu.

2.2 Penelitian yang Terkait

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk menemukan solusi terbaik untuk mendeteksi kebocoran gas. Umumnya metode yang dikembangkan terinspirasi dari kebiasaan hewan yang mampu mendeteksi dan mengidentifikasi benda-benda di sekitar mereka.

Kemotaksis dan anemotaksis merupakan metode yang populer digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas. Metode kemotaksis diperkenalkan oleh Grasso et al [3] melalui implementasi robot *lobster* yang berfungsi mencari konsentrasi garam dalam air. Namun metode ini memiliki kelemahan karena konsentrasi zat kimia yang dideteksi selalu berubah akibat perubahan lingkungan. Konsentrasi garam akan terus berubah karena proses pelarutan dalam air. Kelemahan ini telah diperbaiki pada penelitian sejenis lainnya dengan meminimalisir pengaruh perubahan turbulensi konsentrasi zat kimia pada lingkungan.

Sementara itu, metode anemotaksis merupakan metode pencarian gas dengan memanfaatkan aliran konsentrasi zat kimia sebagai acuan dalam menemukan keberadaan sumber. Metode ini diperkenalkan oleh Ishida et.al [4] melalui penggunaan robot '*moth*', yang dilengkapi dengan anemometer untuk mendapatkan arah dan kecepatan angin. Dengan informasi tersebut robot dapat bergerak ke arah yang didapatkannya. Metode ini ternyata juga memiliki kelemahan karena hanya dapat diterapkan pada lingkungan yang statis dengan arah angin stabil. Jika sistem diimplementasikan pada lingkungan dinamis dengan arah angin tidak stabil maka robot akan sulit menentukan arah pergerakan dan akhirnya gagal menemukan sumber.

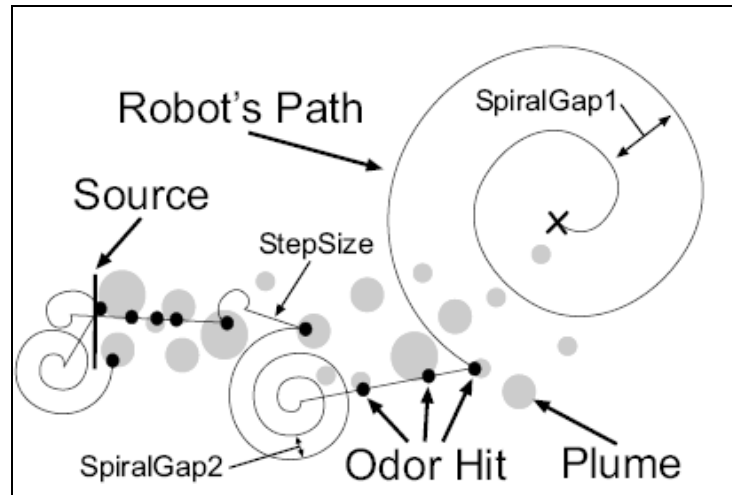
Untuk menyempurnakan kelemahan yang terdapat pada dua metode di atas, maka dilakukan upaya mengkombinasikan dua metode tersebut dalam lingkungan yang dinamis. Metode ini berhasil diterapkan pada robot tunggal dan dikenal dengan metode *Odor-Gated Rheotaxis*

(OGR)[5-6]. Namun dalam implikasinya, ternyata belum ada jaminan bahwa robot selalu berhasil menemukan keberadaan sumber gas.

Pada penelitian lain dalam kasus deteksi sumber gas untuk lingkungan dinamis, dilakukan pencarian dengan memanfaatkan *multiple* robot. Namun pada penerapannya, hal ini menimbulkan masalah baru yakni bagaimana mengatur koordinasi antar robot agar proses pencarian berjalan efektif. Awalnya permasalahan ini dipecahkan dengan mengembangkan metode pencarian secara terpusat [23]. Namun pendekatan sentralisasi ini memiliki kelemahan yakni sulitnya mengkoordinasikan semua anggota robot dalam satu kelompok pada area yang luas. Selain itu, adanya kesulitan dalam mengatur kerja sama antar robot selama proses pencarian. Pada akhirnya, beberapa metode berhasil dikembangkan untuk mengatasi kelemahan pada metode sentralisasi tersebut.

Metode pertama berasal dari bidang komputasi revolusioner yang dikombinasikan dengan OGR, melalui penggunaan *swarm intelligence*. Pendekatan *swarm intelligent* didasari atas perilaku individu yang cenderung kolektif, *desentralisasi*, dan *self-organizing* dalam melakukan proses pencarian. Algoritma yang populer dalam bidang ini adalah *Spiral Surge Algorithm* (SSA) yang dikembangkan oleh Hayes [7].

Pada metode ini suatu robot bergerak dalam lintasan berbentuk spiral untuk mengumpulkan informasi konsentrasi gas. Robot terus bergerak dalam lintasan spiral selama ia belum mendeteksi gas. Ketika robot berhasil menemukan satu konsentrasi gas maka robot akan merubah arah gerakannya sehingga maju melawan arah angin dan menyongsong arah datangnya molekul gas. Pergerakan robot selama menelusuri arah angin ini dinamakan *StepSize*. Namun ketika robot kehilangan kontak dengan molekul gas sebagai akibat perubahan arah angin maka robot akan bergerak kembali secara spiral. Langkah ini akan dilakukan secara berulang hingga robot berhasil menemukan sumber gas. Pola pergerakan robot dalam lintasan berbentuk spiral terlihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Pola pergerakan robot dalam lintasan berbentuk spiral

Metode kedua yang dikembangkan didasarkan pada fluida yang bergerak. Metode ini dikenal dengan nama *Gradient of Divergence of Mass Flux* (GDMF)[8-9]. Metode ini merupakan kombinasi dari Kemotaksis dan Anemotaksis dengan menggunakan prinsip dasar fluida bergerak dimana lokasi sumber dirumuskan dengan invers dari persamaan dasar difusi. Metode ini lebih kompleks dibandingkan dengan *swarm intelligence*. Untuk itu, pada penelitian ini hanya menggunakan pengembangan metode *Swarm Intelligence*[7,10]. Salah satu dari algoritma *swarm intelligence* adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Penelitian lain dengan memanfaatkan *multiple* robot adalah pada penelitian Cui et al [11]. Pada penelitian tersebut berhasil diimplementasikan dalam bentuk metode BESA (*Biasing Expansion Swarm Approach*) dengan memanfaatkan *multiple* robot untuk mendeteksi keberadaan gas emisi pada area pencarian yang tidak terbatas. Penelitian ini didasarkan pada perilaku robot *swarm* dengan menggunakan *grid map* sebagai pemandu dalam pencarian sumber gas di lingkungan yang belum dibatasi. Hasil penelitian menunjukkan tingkat konvergensi yang dicapai lebih cepat dan komunikasi antar robot cenderung lebih stabil.

Pada bidang penelitian yang lain, Marques et al [12] menggunakan Algoritma Genetic untuk mengkoordinasikan sekelompok *mobile* robot untuk mencari satu sumber asap. Algoritma akan bekerja efektif pada awal pergerakan, dimana robot diposisikan secara acak. Tetapi metode ini memiliki kelemahan ketika posisi robot berada di salah satu titik sudut area

pencarian. Pada kondisi tersebut, robot akan bergerak lambat dan tidak produktif melakukan pencarian.

2.3 Perilaku Robot

Dalam pencarian sumber gas, robot diasumsikan sebagai suatu artikel yang bergerak secara bebas mengikuti algoritma pencarian yang sudah ditentukan. Perilaku robot yang digunakan dalam percobaan dilengkapi dengan sensor asap dan sensor angin yang berguna untuk mendeteksi kepekatan konsentrasi gas dan arah angin. Posisi robot dan sumber gas ditentukan oleh kordinat x dan y sedangkan kordinat yang menyatakan ketinggian tidak dianggap karena diasumsikan semua robot berukuran sama dan permukaan tanahnya rata.

2.4 Model Asap Advection-Diffusion Odor

Model gas yang digunakan dalam simulasi ini adalah Advection Diffusion odor yang memiliki sifat gas keluar dari sumber maka molekul ini akan bergerak mengikuti arah angin. Semakin panjang aliran gas yang terbentuk maka volume kepekatan gas akan semakin melemah. Secara visual, molekul gas dapat berbentuk pusaran-pusaran kecil yang mengembang. Pusaran ini selanjutnya akan dipotong menjadi filamen-filamen, dan selanjutnya akan bergerak berliku akibat perubahan arah angin. Farrell et al [17-18] dalam penelitiannya berhasil mengembangkan model pergerakan gas pada lingkungan dinamis yang memiliki karakteristik pola angin yang selalu berubah. Model ini kemudian dikenal sebagai *advection-diffusion odor*.

Dalam model *advection-diffusion odor* kumpulan gas yang bergerak akan dipotong menjadi filamen-filamen. Dari tiap-tiap filamen terkandung konsentrasi gas dengan nilai tertentu yang dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$C(\mathbf{x}_0, t_0) = \sum_{i=1}^M C_i(\mathbf{x}_0, t_0)$$

C adalah tingkat konsentrasi dari kepulan asap yang sedang beredar dengan satuan molekul/cm², t₀ adalah iterasi, dan M adalah jumlah filament yang disimulasikan. Sementara itu, besarnya konsentrasi gas pada lokasi \mathbf{x}_0 dengan filament ke-i dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$C_i(\mathbf{x}_0, t_0) = \frac{q}{\sqrt{8\pi^3}} \exp\left[\frac{-r_i^2(t_0)}{R_i^2(t_0)}\right]$$

$$r_i(t_0) = |\mathbf{x}_0 - \mathbf{p}_i(t_0)|$$

q adalah jumlah asap yang dikeluarkan, R_i sebagai parameter yang mengatur ukuran dari filament ke- i dan p_i adalah perubahan posisi dari filament ke- i .

Model ini bersifat *time-series* sehingga menghasilkan kepulan gas yang dapat bergerak dinamis sesuai dengan kondisi lingkungan. Dalam pengembangan sistem selanjutnya, arah aliran gas yang dihasilkan lebih terkondisi sehingga robot lebih mudah bergerak menemukan sumber gas dengan mengikuti konsentrasi aliran gas yang terdapat dalam filamen. Untuk itu, penelitian ini akan menggunakan model *advection-diffusion odor* untuk memvisualisasikan pergerakan gas terhadap lingkungan yang dinamis.

2.5 Particle Swarm Optimization (PSO)

Dalam pembuatan algoritma untuk pencarian sumber asap yang dilakukan dalam penelitian ini menerapkan prinsip PSO yang sudah dimodifikasi sejak awal penelitian yang dilakukan oleh wisnu dan dilanjutkan oleh peneliti-peneliti berikutnya.

Paradigma *swarm intelligence* muncul dari pemanfaatan *multiple* robot dalam proses pencarian. *Swarm* didefinisikan sebagai suatu kelompok dari individu yang saling

berhubungan satu sama lain, secara langsung atau tidak langsung, yang bergerak dalam suatu lingkungan tertentu. Interaksi antar individu menghasilkan informasi mengenai penyelesaian masalah secara kolektif.

Dari konsep *swarm* dikembangkan suatu metode yang dikenal yaitu *Swarm Intelligent*. Metode ini diilhami dari perilaku koloni para hewan, misalnya kawanan rusa, burung, atau kumpulan semut ketika mereka sedang mencari makanan. *Swarm Intelligent* [19] merupakan teknik kecerdasan buatan yang didasarkan pada perilaku sosial individu dalam berinteraksi sesamanya secara desentralisasi, dimana tiap individu bebas bergerak dan mampu mengatur dirinya sendiri. Dalam sebuah *swarm* tidak ada yang bertindak sebagai pemimpin. Tetapi perilaku tiap individu akan mencerminkan sifat perilaku seluruh anggota koloninya.

Setiap partikel dalam *Swarm Intelligent* memiliki tiga sifat mendasar. Pertama, perilaku yang kolektif dalam setiap aktivitas. Setiap partikel selalu bergerak secara kolektif dalam menyelesaikan tugasnya. Perilaku kolektif ini akan mempengaruhi perilaku tiap individu di dalam *swarm*. Kedua, adanya desentralisasi gerak. Setiap partikel dalam *swarm* akan bergerak menyebar ke segala arah untuk mencari solusi. Namun pergerakan tersebut masih bersifat terpusat dalam *swarm* sebagai koloninya. Tidak adanya pemimpin dalam suatu *swarm*. Tiap partikel memiliki keteraturan dalam bergerak. Ketiga, *swarm* bersifat *self-organizing* sehingga tiap individu bebas mengatur pola pergerakan masing-masing. Pola pergerakan *swarm* muncul sebagai akibat dari proses komunikasi antar individu dalam *swarm*.

Konsep pemikiran *Swarm Intelligent* telah diterapkan pada bidang robotika. Penelitian awal mengenai pemanfaatan prinsip *Swarm Intelligent* dalam bidang robotika dilakukan oleh Brecht [20]. Ia memperkenalkan sistem robotika selular dengan membentuk sekumpulan robot yang mampu bergerak otonom di bawah suatu kendali. Namun sistem yang dihasilkan memiliki keterbatasan, dimana komunikasi antar robot masih terbatas selama proses pergerakan. Selain itu, robot belum di-set untuk menjalankan tugas tertentu.

Penerapan partikel robot dalam suatu *swarm* menghasilkan beberapa keuntungan jika dibandingkan penerapan robot secara individu dengan kemampuan sebanding. *Swarm* biasanya merupakan sebuah populasi yang terdiri atas anggota agen-agen sederhana, yang berinteraksi secara lokal dengan sesama anggota dan juga berinteraksi dengan lingkungan.

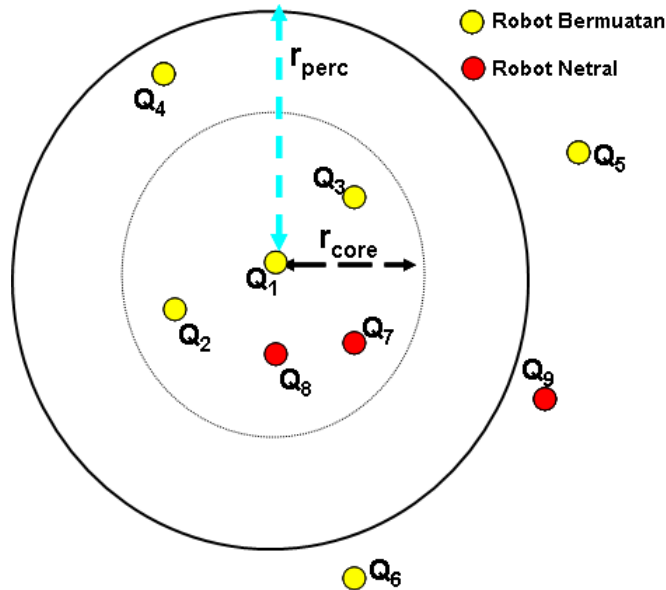
Walaupun pada umumnya dalam Swarm ini tidak ada struktur terpusat (*centralized*) yang mendikte tiap anggota dalam swarm tersebut untuk bertindak, namun secara lokal seringkali menuju pada pembentukan (*emerge*) perilaku global. Tiap individu dalam suatu swarm bergerak secara otonom. Selain itu, kelebihan lain dari *swarm* robot adalah cakupan area pencarian yang lebih luas dibanding robot individu, karena adanya distribusi intelegensia.

Dalam perjalanannya, paradigma *Swarm Intelligent* telah dikembangkan ke dalam dua pendekatan algoritma, yaitu algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan Algoritma Semut (*Ant Algorithm*). Masing-masing algoritma memiliki pendekatan yang berbeda tetapi dapat diterapkan untuk penyelesaian masalah pendeteksi sumber. Untuk penelitian ini, penulis menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menyelesaikan permasalahan deteksi sumber gas dengan penggunaan kumpulan robot. Dalam algoritma PSO, robot difungsikan sebagai agen-agen pencari sumber gas dan dapat saling bertukar informasi untuk mencari lokasi sumber gas. Dalam penelitian ini akan dilakukan pencarian multi sumber gas dengan memanfaatkan banyak robot dan dikombinasikan dengan metode Komotaksis dan Anemotaksis.

2.6 Charge Robot

Peneliti sebelum ini, menerapkan metode charge robot agar nilai global best yang ditangkap bukan merupakan lokal maksimum. Prinsip kerja metode charge robot adalah robot terbagi dua jenis yaitu robot bermuatan dan robot tidak bermuatan, sebuah robot tidak bermuatan akan bergerak disekitar suatu robot bermuatan yang menjadi patokannya dan dalam jarak maksimum yang sudah ditentukan, setiap robot bermuatan akan saling menjauh bila bertemu lebih dekat dari jarak yang dibolehkan.

Berikut ini adalah gambaran jarak sebuah robot dan besarnya gaya tolak-menolaknya:



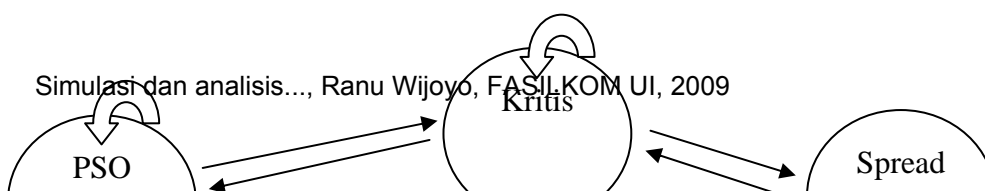
Gambar 2.6 Gaya tolak-menolak antar robot

2.7 Open Dynamics Engine (ODE)

ODE merupakan sebuah open source yang merupakan library tambahan yang memiliki kinerja sangat bagus untuk mensimulasikan object yang bergerak dengan dinamis yang dipengaruhi factor alam yang ada seperti gravitasi, gaya dari object lain, maupun gaya yang dia miliki sendiri. ODE merupakan library untuk C/C++ yang berdiri independen/jalan di jenis bahasa C/C++ apapun. ODE sering digunakan untuk membuat simulasi sebuah robot karena dapat memodelkan joint antar anggota tubuh dari robot, sensor-sensor yang biasa digunakan seperti sensor cahaya dan jarak, berat robot.

2.8 Fase Spread

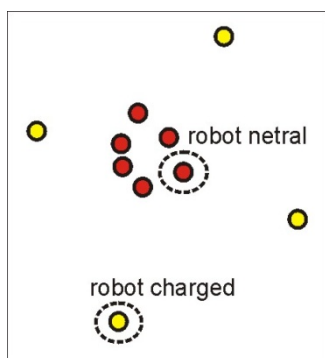
Saat beberapa iterasi, ternyata partikel robot tidak berhasil memperbaharui nilai *global best*, maka dapat dipastikan robot terjebak pada titik lokal maksimum. Pada saat itu robot berada dalam fase kritis. Pada masa kritis, robot akan mereset nilai *global best* yang ada. Namun bila dalam fase kritis ternyata robot masih belum bisa menemukan nilai *global best* yang baru maka robot melakukan *spread*. Spread adalah keadaan dimana robot melakukan gerakan berpencar dilihat dari titik tengah posisi semua robot. Berikut ini adalah gambaran untuk perubahan siklus dari PSO, Kritis, dan Spread:



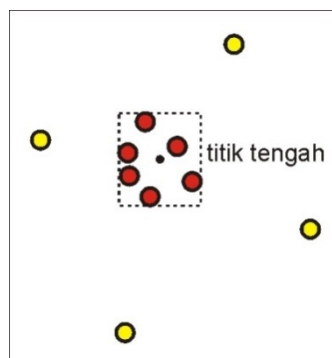


Gambar 2.8 Alur Perubahan Kondisi Pencarian Sumber Gas

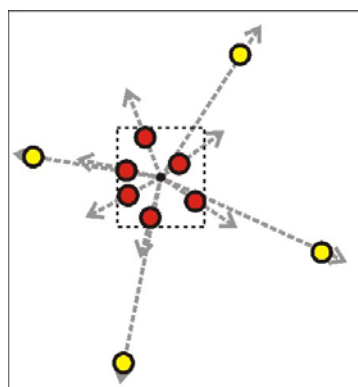
Berikut ini adalah ilustrasi dari *spread*:



(1) Posisi awal robot



(2) Menghitung titik tengah dari robot netral



(3) Robot berpencar

Gambar 2.9 Proses Spread

2.9 Paralel Niche

Paralel Niche merupakan metode pengembangan dari algoritma pencarian sumber gas dengan cara membagi robot pencari sumber gas ke dalam beberapa kelompok. Setiap kelompok memiliki global best sendiri dan tidak ada saling tukar informasi antar kelompok.

2.10 Robot Kepala

Robot kepala merupakan pengembangan lanjutan dari algoritma pencarian sumber gas yang sudah menerapkan paralel Niche. Kelebihan algoritma ini adalah untuk setiap kelompok robot pencari sumber gas terdapat satu buah robot kepala. Setiap robot kepala ini memiliki daerah kekuasaannya sendiri sehingga dapat menmperecil kesus di mana beberapa kelompok robot menuju sumber gas yang sama.