

PENGENDALIAN MAGNETRON BERBASIS LOGIKA FUZZY¹

Radi²

ABSTRAK

Magnetron merupakan salah satu penghasil gelombang mikro. Dewasa ini, gelombang mikro sangat banyak diterapkan untuk berbagai keperluan seperti komunikasi, aplikasi industri, ilmiah, medis dan radar. Dalam aplikasi industri, gelombang mikro banyak dimanfaatkan untuk pemasakan. Pemanfaatan gelombang mikro sebagai pemanas memiliki keunggulan dibandingkan pemanas konvensional yaitu waktu pemanasan yang singkat dengan distribusi yang seragam. Pengembangan pemanfaatan gelombang mikro untuk aplikasi industri yang lebih luas memerlukan upaya pengendalian energi gelombang agar sesuai dengan keperluan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah pengendali magnetron yang diterapkan untuk memanaskan suatu produk. Sistem kendali dirancang berbasis logika fuzzy, digunakan untuk mengatur siklus tugas penyalaan magnetron. Penelitian dilakukan secara bertahap, yaitu: (1) perancangan model, (2) perancangan kendali suhu, (3) uji fungsional, serta (4) pengumpulan dan analisa data. Penelitian ini membuat dua rancangan sistem kendali suhu. Sistem kendali diuji secara simulasi sebelum digunakan untuk mengendalikan magnetron pada model pengering. Pengujian dilakukan dengan memvariasi periode sinyal penyalaan magnetron sebesar 60, 50, 40, 30, 20, dan 10 detik.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rancangan dapat digunakan untuk mengendalikan model. Kinerja sistem kendali ditentukan oleh periode dan jumlah beban yang diberikan. Rancangan dengan beban 0,5 kg jagung memberikan hasil optimum pada periode 30 detik dengan waktu bangkit 2,5 menit dan *error* rerata 1,302 °C, sedangkan dengan beban 1 kg jagung, rancangan ini memberikan hasil optimum pada periode 30 detik dengan waktu bangkit 3,5 menit dan *error* rerata 0,759 °C. Kinerja sistem kendali periode besar dapat ditingkatkan dengan mengubah pengaturan prosentase siklus tugas penyalaan magnetron.

Kata kunci: *magnetron, sistem kendali suhu, logika fuzzy, siklus tugas, periode.*

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008.

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

A. PENDAHULUAN

Magnetron merupakan salah satu pembangkit gelombang mikro. Magnetron banyak diterapkan untuk pemasakan bahan pangan, seperti pada oven dengan gelombang mikro (*microwave oven*). Microwave oven telah dikenal oleh masyarakat luas dan memberikan alternatif pemasakan yang lebih efisien, lebih cepat dengan tingkat kematangan yang seragam.

Dewasa ini, gelombang mikro sangat banyak diterapkan untuk berbagai keperluan seperti komunikasi, aplikasi industri, ilmiah, medis dan radar. Dalam aplikasi industri, gelombang mikro banyak dimanfaatkan untuk pemasakan. Pemanfaatan gelombang mikro sebagai pemanas memiliki keunggulan dibandingkan pemanas konvensional yaitu waktu pemanasan yang singkat dengan distribusi yang seragam. Pengembangan pemanfaatan gelombang mikro untuk aplikasi industri yang lebih luas memerlukan upaya pengendalian energi gelombang agar sesuai dengan keperluan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali suhu pada ruang pemanas dengan pembangkit gelombang mikro. Sistem kendali ini dirancang secara tertutup (*close loop*) dengan basis logika fuzzy (*fuzzy logic controller*).

B. TEORI

Gelombang mikro merupakan gelombang elektromagnetik yang diradiasikan oleh elektron bebas yang beresilasi karena adanya medan RF (*Radio Frequency*) listrik bolak-balik yang bekerja pada frekuensi antara 300 MHz sampai 300 GHz dengan panjang gelombang dari 1 m sampai 1 mm. Menurut Carter (1990), gelombang elektromagnetik pertama kali digunakan pada pertengahan tahun 1800-an seiring dengan mulai berkembangnya telegram listrik dan optik untuk keperluan komunikasi. Gelombang mikro dikembangkan sebagai medan baru dari gelombang elektromagnetik selama perang dunia II untuk keperluan navigasi dan deteksi radar. Saat ini, gelombang mikro telah digunakan di berbagai bidang antara lain:

1. Komunikasi, seperti: komunikasi satelit, radio, televisi, dan sistem nirkabel. Komunikasi gelombang mikro (dengan frekuensi yang lebih tinggi dan *bandwidth* yang besar) sangat mudah dikombinasikan dengan satelit karena gelombang tersebut dapat menembus lapisan ionosfer yang dapat memantulkan sinyal radio frekuensi rendah.
2. Aplikasi industri, ilmiah, dan medis seperti pemanasan gelombang mikro untuk pengeringan & pemasakan, pengukuran, pembuatan plasma, dan astronomi. Banyak

molekul dan atom yang beresonansi pada frekuensi gelombang mikro sehingga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pengukuran-pengukuran ilmiah. Frekuensi gelombang mikro yang diperuntukan untuk industri, ilmiah, dan medis adalah 915 MHz, 2450 MHz, 5800 MHz, dan 22125 MHz.

3. Radar, seperti: sistem deteksi, navigasi, kendali lalu lintas udara, dan GPS (*Global Positioning Sistem*). Gelombang mikro dapat menembus asap dan awan sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengukur jarak dan mencari posisi obyek yang diinginkan dengan sistem radar.

Microwave oven ditemukan secara tidak sengaja oleh Dr. Percy Spencer pada tahun 1945. Awalnya Spencer beserta tim sedang melakukan penelitian tentang penggunaan magnetron yaitu sejenis tabung vakum penghasil gelombang mikro untuk keperluan radar. Di lokasi tersebut didapatkan bahwa beberapa makanan menjadi mudah panas dan bahkan meleleh, seperti permen dalam saku Spencer. Fenomena ini kemudian dipelajari lebih dalam dengan melakukan sejumlah percobaan untuk melihat pengaruh gelombang mikro tersebut terhadap sejumlah makanan dan air. Penelitian ini menyimpulkan bahwa gelombang mikro memang dapat memanaskan makanan, dan jika gelombang mikro berada di dalam kotak baja, maka gelombang mikro akan terperangkap di dalamnya dan dapat meningkatkan suhu makanan dalam waktu yang cepat.

Pemanasan bahan dengan gelombang mikro lebih menguntungkan dibanding dengan pemanasan konvensional karena pemanasan yang lebih cepat, lebih dalam, dan lebih efisien. Pada pemanasan konvensional, sumber panas menyebabkan molekul bereaksi dari permukaan obyek yang dipanaskan menuju ke tengah, sehingga lapisan-lapisan panas secara berurutan. Permukaan obyek menjadi bagian yang paling panas dibanding dengan bagian dalam.

Gelombang mikro dapat menembus bahan dalam waktu yang singkat, molekul-molekul dalam bahan berlaku seperti magnet-magnet kecil yang berosilasi di bawah pengaruh medan RF, sehingga terjadi gesekan antar molekul dan menimbulkan panas. Semua molekul berosilasi dalam waktu yang sama sehingga menghasilkan efek pemanasan serentak di seluruh volume obyek yang dipanaskan. Keunggulan pemanasan dengan gelombang mikro terlihat pada pola pemanasannya yang terjadi secara menyeluruh. Dengan teknik ini, pemanasan dapat berlangsung dengan waktu yang singkat yakni hanya dalam hitungan detik ataupun menit. Hal

ini menjadi suatu keuntungan, karena pada metode pemanasan dengan menggunakan pemanas konvensional dapat berlangsung dalam hitungan jam dan bahkan hitungan hari.

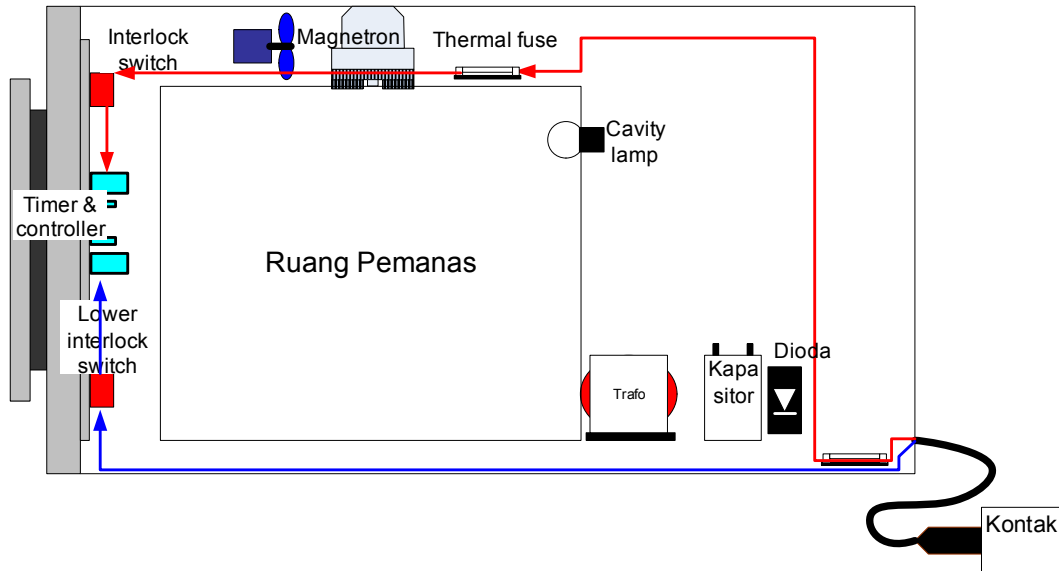
Bahan-bahan dielektrik (konduktor buruk) umumnya dapat ditembus oleh medan gelombang mikro. Produk-produk pertanian umumnya terdiri dari molekul-molekul dielektrik yang tersebar secara acak. Bahan dielektrik yang ditembus gelombang mikro akan mengalami osilasi dipol dan pergerakan ionik yang berkontribusi dalam pemanasan dielektrik. Dengan adanya medan gelombang mikro bolak-balik, molekul-molekul tersebut cenderung bergerak agar kutub molekulnya searah vektor medan elektrik. Perubahan medan elektrik yang cepat (frekuensi tinggi) menyebabkan gerakan molekul dielektrik sangat cepat (berosilasi) dan acak. Osilasi frekuensi tinggi menghasilkan gesekan yang membangkitkan panas secara cepat. Ion-ion yang terpecah dalam material bereaksi terhadap medan magnetik gelombang mikro bolak-balik sehingga mengalami percepatan. Ion-ion yang dipercepat tersebut saling bertumbukan sehingga terjadi pengalihan energi kinetik menjadi panas. Pemanasan dengan gelombang mikro juga tergantung pada keadaan fisik ion dan molekul dwi-kutub. Pada molekul yang mengalami loncatan ion, respon terhadap medan gelombang mikro diganggu oleh ion dari molekul bebas. Pada proses pengeringan, molekul dwi-kutub yang paling banyak umumnya adalah molekul-molekul air. Mekanisme pergerakan ionik kurang penting dibandingkan osilasi molekul dalam proses pengeringan.

Sebagai gelombang elektromagnet, gelombang mikro membawa medan elektrik dan medan magnetik. Molekul-molekul air merupakan molekul dwi kutub, yaitu kutub positif pada salah satu ujungnya dan kutub negatif di ujung yang lain (**Gambar 1**). Gaya listrik yang diakibatkan oleh medan elektrik gelombang mikro akan memutar molekul-molekul air hingga molekul-molekul tersebut bergerak. Pergerakan ini kemudian menyebabkan molekul-molekul air saling bergesekan dan bertumbukan. Gesekan dan tumbukan antar molekul akan menghasilkan panas, yang kemudian meningkatkan suhu makanan secara keseluruhan. Ruangan dalam microwave *oven* yang mengandung uap air akibat penguapan cairan tidak akan panas karena uap air memiliki kerapatan yang rendah. **Gambar 1** menunjukkan molekul dwi-kutub yang berada dalam medan elektrik. Molekul bermuatan positif (bola merah) berusaha mendekati muatan negatif medan elektrik dari gelombang mikro. Tarik-menarik antara molekul bermuatan positif ini dengan medan elektrik menyebabkan molekul dwi-kutub bergerak. Perubahan medan elektrik karena gerakan gelombang menyebabkan molekul dwi-kutub berputar sehingga terjadi gesekan dan tumbukan dengan molekul yang lain.

Secara fisik, gelombang mikro memiliki tiga sifat dasar yang menjadi dasar prinsip kerja pemanasannya, pertama gelombang mikro akan dipantulkan oleh bahan logam seperti baja atau besi. Kedua, gelombang ini dapat menembus bahan non logam tanpa memanaskannya. Ketiga, gelombang mikro ini akan diserap oleh air. Sebagai gelombang elektromagnetik, gelombang mikro yang menjalar membawa energi yang cukup untuk memanaskan cairan pada makanan. Gelombang mikro yang dipancarkan magnetron ke dalam ruang microwave akan terperangkap dalam ruang pemanas yang terbuat dari logam. Gelombang mikro yang mengenai cairan akan diserap oleh cairan tersebut dan membangkitkan panas.

Zat makanan lain yang menyerap panas gelombang mikro adalah gula, garam dan lemak. Jumlah molekul dwi-kutub dalam bahan menentukan kecepatan pemanasan bahan dengan pemanas gelombang mikro. Logam tidak dapat ditembus oleh gelombang mikro karena molekulnya lebih rapat dibandingkan panjang gelombang mikro. Alumunium foil yang tipis masih dapat ditembus oleh gelombang mikro sehingga dapat dimanfaatkan untuk memasak makanan yang banyak mengandung air atau lemak yang lebih mudah panas agar tidak gosong.

Microwave oven disusun dari rangkaian listrik dengan komponen mekanik untuk menghasilkan dan mengontrol energi keluaran gelombang mikro untuk pemanasan dan pemasakan. Secara umum, *microwave oven* terdiri atas dua bagian utama yaitu bagian sistem kendali dan sistem tegangan tinggi. Bagian sistem kendali terdiri atas sebuah timer (elektronik atau elektro-mekanik), sebuah panel kontrol untuk mengatur keluaran daya, variasi kunci pengaman pintu, dan pengaman komponen. Bagian sistem tegangan tinggi berfungsi untuk menaikkan tegangan rendah (rumah) menjadi tegangan tinggi yang akan dikonversi menjadi energi gelombang mikro. Prinsip kerja *microwave* disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Prinsip Kerja Microwave Oven

Listrik dari stop kontak masuk ke sistem melalui rangkaian pengaman yang terdiri atas sebuah pengaman arus (fuse) dan pengaman pemanas berlebih (pengaman panas ruangan dan magnetron). Pengaman ini menjadi tidak aktif (OFF) bila terjadi hubungan singkat (*short circuit*) maupun terjadi pemanasan berlebih. Bila sistem dalam keadaan normal, maka arus listrik akan mengalir dari stop kontak ke rangkaian pengaman panas dan rangkaian pewaktu (timer). Bila pintu ditutup, aliran listrik juga akan melalui saklar kunci pengaman pintu (atas). Kabel nol terhubung ke pengaman pintu bawah. Penyetelan timer dan penekanan tombol mulai memasak akan meneruskan tegangan listrik ke rangkaian kontrol yang terdiri atas sebuah relay elektromagnet atau saklar elektronik yang sering disebut dengan triac, ditunjukkan pada **Gambar 2.7**. Sistem akan memberikan sinyal kepada sistem kontrol untuk mengaktifkan triac, sehingga akan menghubungkan tegangan masukan dengan trafo penaik tegangan. Tegangan dan arus yang masuk ke kumparan primer menyebabkan timbulnya tegangan induksi pada kumparan sekunder. Tegangan tinggi ini disalurkan dan diberikan pada magnetron.

Pengaturan sinyal pada triac memungkinkan sistem kontrol mengendalikan daya keluaran dari *microwave oven*. Prinsip kerja dari sistem tegangan tinggi ditunjukkan pada **Gambar 2.8**. Beberapa model telah menggunakan relay pengendali daya untuk mengendalikan keluaran daya magnetron. Di bagian sistem tegangan tinggi, sisi sekunder trafo disambung dengan sebuah dioda khusus dan kapasitor. Trafo berfungsi untuk menaikkan tegangan rendah (115 V) menjadi tegangan tinggi (3000 V).

Energi gelombang mikro digunakan untuk memanaskan bahan. Usaha pengaturan suhu bahan dapat dilakukan dengan mengatur energi tersebut. Energi merupakan perkalian antara daya (P) dengan waktu (t), sesuai persamaan 2.16.

$$W = P \times t \dots\dots\dots (2.16)$$

Pengaturan energi dapat dilakukan dengan mengatur P (untuk t tetap) atau mengatur t (untuk P tetap). Pengaturan daya (P) dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti mengatur arus yang masuk ke magnetron atau mengatur medan magnet dalam magnetron. Pengaturan tegangan masukan magnetron tidak dapat dilakukan karena pembangkitan gelombang mikro memerlukan tegangan yang tinggi.

Magnetron dalam *microwave oven* menghasilkan energi dengan daya tetap. Pengaturan waktu pembangkitan daya merupakan salah satu alternatif mengendalikan energi pemanasan. Berdasarkan rangkaian pembangkit gelombang mikro dalam *microwave oven* maka perlu sebuah saklar untuk mengatur lama penyalaan magnetron. Saklar tersebut dipasang pada jalur hubungan stop kontak dengan sistem tegangan tinggi atau antara sistem tegangan tinggi dengan magnetron. Pemilihan pemasangan saklar pada jalur sebelum masuk ke sistem tegangan tinggi merupakan langkah yang paling aman.

Pengaturan saklar tersebut merupakan kunci sistem pengendalian ini. Pengaturan ini dapat dilakukan dengan mengatur siklus tugas (*duty cycle*) pada sinyal periodis penyalaan magnetron. Trafo mempunyai sifat induktansi sehingga pengaturan sinyal periodis yang diberikan harus berfrekuensi rendah.

Logika fuzzy adalah suatu kerangka berpikir untuk menerjemahkan parameter-parameter sistem ke dalam bahasa yang mudah dipahami untuk menggambarkan berbagai hukum-hukum alam dalam bentuk linguistik. Persamaan matematis yang terkadang membuat bingung sebagian praktisi akan tereduksi dengan pernyataan-pernyataan linguistik yang berbentuk logika **jika....maka**.

Fungsi keanggotaan merupakan cara merepresentasikan keanggotaan suatu elemen dalam keanggotaan fuzzy. Keanggotaan suatu elemen dalam himpunan fuzzy umumnya dinyatakan dalam derajat keanggotaan dengan nilai yang berkisar antara 0 sampai dengan 1. Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2005), fungsi keanggotaan didefinisikan sebagai suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik data masukan ke dalam nilai keanggotaannya. Ada dua cara untuk mendefinisikan keanggotaan himpunan fuzzy, yaitu: secara numeris dan secara fungsional. Cara numeris merupakan pendefinisian keanggotaan suatu himpunan fuzzy

sebagai vektor bilangan yang dimensinya tergantung pada level diskretisasi (cacah elemen diskrit di dalam semesta). Cara fungsional merupakan bentuk pendefinisian keanggotaan suatu himpunan fuzzy yang menyatakan fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy dalam ekspresi analitis yang memungkinkan derajat keanggotaan setiap elemen dihitung dalam semesta wacana yang didefinisikan.

Pendefinisian fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy melalui pendekatan fungsi dapat dilakukan melalui beberapa cara, antara lain dengan representasi linier, kurva segitiga, kurva trapesium, kurva bentuk bahu, kurva-S, dan kurva bentuk lonceng (fungsi π).

Inferensi merupakan langkah untuk mendapatkan keluaran sistem fuzzy berdasarkan aturan yang telah ditetapkan. Ada beberapa metode inferensi yang banyak digunakan. Tsukamoto mengenalkan sistem inferensi logika fuzzy dimana keluaran fuzzy direpresentasikan dengan himpunan fuzzy. Setiap konsekuen pada aturan yang berbentuk If-Then harus direpresentasikan dengan suatu himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang monoton (**Gambar 1**). Keluaran hasil inferensi dari tiap-tiap aturan diberikan secara tegas (*crisp*) berdasarkan α -predikat (*fire strength*). Hasil akhir keluaran sistem fuzzy diperoleh dengan menggunakan rata-rata terbobot.

Pengendalian dengan logika fuzzy mempunyai tiga tahapan yang harus dipenuhi untuk menghasilkan keluaran pengendalian yaitu: fuzifikasi, inferensi dan defuzifikasi. Fuzifikasi merupakan penerjemahan masukan dalam peta logika fuzzy. Proses ini berfungsi untuk merubah suatu besaran analog menjadi masukan fuzzy. Suatu besaran analog dibuat sebagai masukan baku, kemudian masukan tersebut dipetakan pada bidang batas *scope/domain* sehingga dapat dinyatakan dengan label (dingin, panas, cepat, dan lain-lain) dari fungsi keanggotaan (*membership function*). Dari fungsi keanggotaan inilah diketahui berapa derajat fungsi keanggotaannya.

Inferensi merupakan pembuatan aturan-aturan fuzzy yang dinyatakan dengan aturan 'If ... Then'. Langkah ini berfungsi untuk mencari suatu nilai keluaran fuzzy dari masukan fuzzy yang telah difuzifikasi yang kemudian dipetakan ke dalam aturan yang telah dibuat untuk dijadikan sebuah keluaran fuzzy. Setiap fungsi keanggotaan didefinisikan sebagai masukan dari variabel keluaran. Suatu aturan dapat dibuat untuk menggambarkan hubungan masukan dengan keluaran. Adanya dua *antecedent* belum tentu berarti ada dua sensor. Contohnya jika dilakukan pengontrolan temperatur maka umpan balik dari suhu juga dapat digunakan sebagai masukan, yaitu *error* (e) sebagai masukan pertama dan perubahan *error* (biasanya disebut

delta error) sebagai masukan kedua. Jumlah aturan maksimum sama dengan jumlah masukan keanggotaan $1 \times$ jumlah masukan keanggotaan $2 \times$ jumlah masukan keanggotaan n .

Defuzifikasi merupakan proses penerjemahan logika fuzzy menjadi keluaran sistem kendali. Setelah pengendali fuzzy memeriksa masukan dan mengolahnya dalam aturan-aturan yang telah dibuat, dituntut untuk menghasilkan keluaran yang dapat digunakan untuk pengendalian. Pengendali fuzzy harus mampu mengubah variabel keluarannya ke dalam bentuk keluaran *crisp* yang nantinya akan digunakan untuk menghasilkan keluaran untuk pengendalian. Ada dua cara yang paling sering digunakan dalam defuzifikasi yaitu metode defuzifikasi maksimum dan metode perhitungan nilai tengah.

C. METODE PENELITIAN

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijian jagung. Jagung merupakan salah satu produk pertanian yang berkulit keras dan sering mengalami pengerasan kulit (*case hardening*) dalam pengeringannya.

2. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua, yaitu model pengujian dan alat ukur pengujian. Model pengujian yang digunakan ada dua, yaitu lampu pemanas untuk simulasi dan pembangkit gelombang mikro untuk penerapan secara nyata. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah: termometer jangkauan ukur $0-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, timbangan digital (satuan dalam miligram), oven, strain amplifier, multimeter, deteksi radiasi, komputer minimal pentium I, downloader mikrokontroler, mikrokontroler ATmega 8535(L), sensor suhu & kelembaban.

3. Jalan Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara bertahap, meliputi: (1) perancangan model, (2) perancangan teknik dan perangkat lunak sistem kendali suhu, (3) uji fungsional, (4) pengumpulan dan analisa data.

a. Perancangan model pengering

Model pemanas gelombang mikro terdiri atas 3 bagian, yaitu: ruang pemanas, pembangkit gelombang mikro, dan sistem pengendali. Ruang pemanas dibuat dengan dimensi (286x272x206) mm dari bahan aluminium setebal 1 mm. Pembangkit gelombang mikro yang digunakan terdiri atas magnetron dan sistem tegangan tinggi. Sistem tegangan tinggi terdiri atas sebuah trafo penaik tegangan, dioda, dan kapasitor.

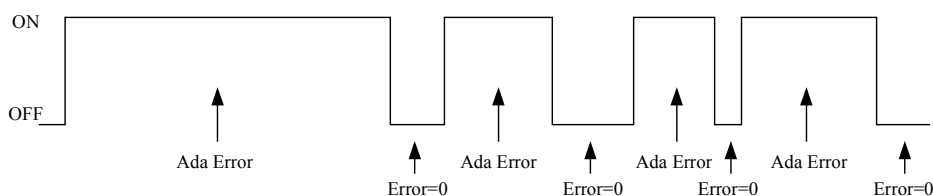
Sistem pengendali meliputi sensor sebagai alat untuk memberikan sinyal masukan pada sistem kendali, prosesor sebagai otak pengendali, dan rangkaian penggerak magnetron. Penggerak magnetron terdiri atas sebuah saklar daya (*relay*) AC 220V dengan catu daya 12 V yang dilengkapi dengan sebuah penggandeng optik (*optocoupler*). Relay berfungsi sebagai pembatas hubungan magnetron dengan pencatu dayanya. Penggandeng optik ini berfungsi sebagai pengatur kerja relay. Penggandeng optik dikendalikan oleh prosesor kendali yang bekerja pada tegangan rendah.

Prosesor kendali berfungsi untuk mengatur jalannya pengendalian. Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler jenis AVR yaitu Atmega8535(L) sebagai prosesornya. Prosesor kendali ini dilengkapi dengan sebuah LCD (*Liquid Crystal Dioda*) dan keypad untuk memudahkan pengoperasiannya.

Termometer dirancang dengan sensor Thermopile TPS333 dan dilengkapi dengan rangkaian pengkondisi sinyal. Sensor ini bersifat non kontak untuk mengukur suhu bahan dalam ruang pengeringan supaya lebih mudah dan praktis. Sensor suhu dipasang tersembunyi di atas ruang pemanas yang dilengkapi dengan pemandu inframerah.

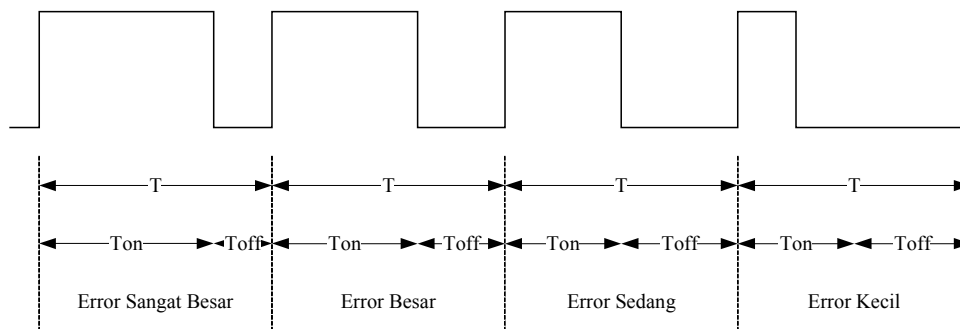
b. Perancangan teknik dan perangkat lunak sistem kendali suhu

Secara umum dalam pengendalian konvensional, *plant* akan memberikan aksi bila diketahui kondisinya berada dibawah nilai referensi hingga dicapai kondisi tersebut. *Plant* akan diam (mati) bila kondisinya sudah mencapai nilai referensi. Ilustrasi sistem ini yang bekerja secara terus-menerus disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Teknik Pengendalian On-Off

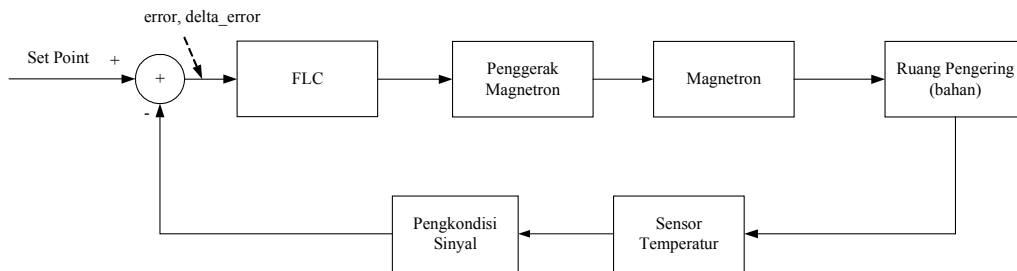
Teknik pengambilan data suhu sebagai umpan balik sistem kendali ruang pemanas dengan pembangkit gelombang mikro harus dilakukan pada saat magnetron mati. Dalam sistem kendali, sinyal umpan balik harus dilakukan pada saat yang tepat untuk memberikan aksi kendali yang sesuai sehingga diperlukan pengambilan data suhu secara periodik. Sinyal kendali on-off tersebut perlu dimodifikasi menjadi sinyal periodik untuk memungkinkan pengambilan suhu tepat waktu. Pengambilan sinyal umpan balik dilakukan pada akhir periode. Untuk menghasilkan sinyal kendali yang tepat sesuai dengan kondisi sistem maka digunakan sistem kendali siklus tugas (*duty cycle*) sinyal periodik tersebut. Besar-kecilnya siklus tugas ditentukan oleh besarnya sinyal umpan balik. Dalam penelitian ini digunakan logika fuzzy untuk mengatur besarnya siklus tugas magnetron tersebut. Teknik pengaturan siklus tugas ini ditunjukkan pada **Gambar 3**.



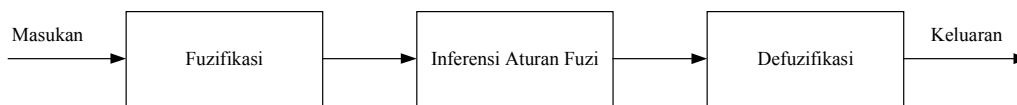
Gambar 3. Teknik Pengaturan Siklus Tugas Penyalaan Magnetron

c. Perancangan perangkat lunak

Program kendali logika fuzzy suhu dirancang dengan dua masukan, yaitu *error* ($e(t)$) dan *delta error* ($d_e(t)$) dengan keluaran berupa bilangan tegas (*crisp*). Bilangan tegas ini digunakan untuk menentukan besarnya siklus tugas penyalaan magnetron. *Error* ini merupakan selisih suhu aktual dengan suhu referensi, sedangkan *delta error* merupakan selisih antara *error* aktual dengan *error* sebelumnya. Diagram alir kerja sistem kendali logika fuzzy suhu yang dirancang ditunjukkan pada **Gambar 4**, sedangkan langkah perancangan sistem tersebut ditunjukkan pada **Gambar 5**.

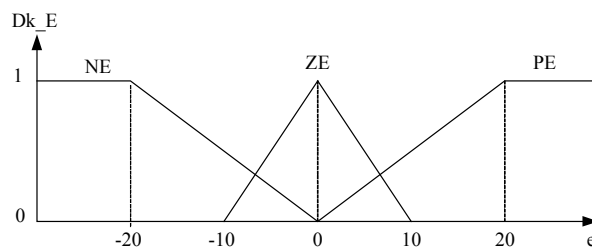


Gambar 4. Diagram Blok Pengendali Umpan Balik Suhu dengan FLC

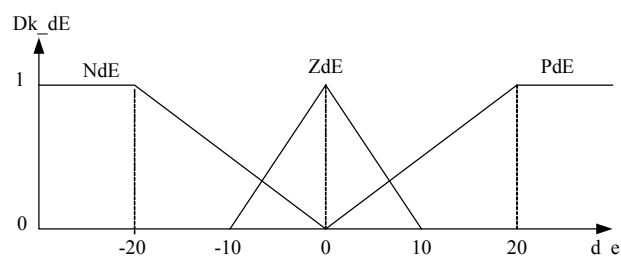


Gambar 5. Langkah dalam Merancang Pengendali Logika Fuzzy

Rancangan kendali magnetron ini merupakan sistem pengendali berbasis logika fuzzy yang dikembangkan oleh Tsukamoto. Rancangan kendali ini dapat diuraikan sebagai berikut. Fungsi keanggotaan *error* dan *delta error* direpresentasikan dengan kurva berbentuk segitiga dan bahu yang terdiri atas tiga himpunan keanggotaan, yaitu: himpunan *Negatif Error* (NE), *Zerro Error* (ZE), dan *Positif Error* (PE) seperti pada **Gambar 6**. Variabel *delta error* juga didefinisikan dalam tiga himpunan keanggotaan, yaitu: *Negatif Delta error* (NdE), *Zerro Delta error* (ZdE), dan *Positif Delta error* (PdE) seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.

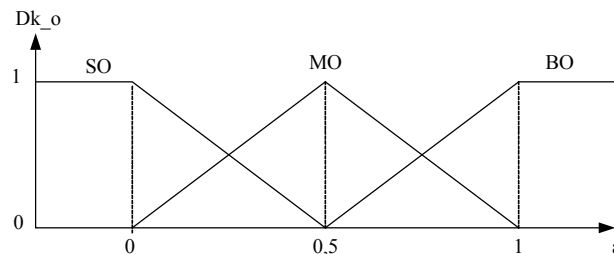


Gambar 6. Fungsi Keanggotaan *Error*



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan *Delta error*

Keluaran sistem kendali ini didefinisikan sebagai himpunan fuzzy dengan 3 himpunan keanggotaan, yaitu: himpunan keluaran kecil (*Small Output*, SO), keluaran sedang (*Medium Output*, MO), dan keluaran besar (*Big Output*, BO) dengan fungsi keanggotaan sesuai dengan **Gambar 8**.



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Keluaran

Sistem pengendali logika fuzzy ini menggunakan inferensi fungsi minimum dengan aturan sebagai berikut:

- [R1] IF $e(t) = PE$ AND $d_e(t) = PdE$ THEN $o(t) = Bo$;
- [R2] IF $e(t) = PE$ AND $d_e(t) = ZdE$ THEN $o(t) = Bo$;
- [R3] IF $e(t) = PE$ AND $d_e(t) = NdE$ THEN $o(t) = Bo$;
- [R4] IF $e(t) = ZE$ AND $d_e(t) = PdE$ THEN $o(t) = Bo$;
- [R5] IF $e(t) = ZE$ AND $d_e(t) = ZdE$ THEN $o(t) = Mo$;
- [R6] IF $e(t) = ZE$ AND $d_e(t) = NdE$ THEN $o(t) = So$;
- [R7] IF $e(t) = NE$ AND $d_e(t) = PdE$ THEN $o(t) = So$;
- [R8] IF $e(t) = NE$ AND $d_e(t) = ZdE$ THEN $o(t) = So$;
- [R9] IF $e(t) = NE$ AND $d_e(t) = NdE$ THEN $o(t) = So$.

Defuzifikasi sistem kendali ini dilakukan dengan metode nilai tengah (*centroid*). Nilai *crisp* (z) digunakan untuk memodulasi siklus tugas penyalan magnetron dengan ketentuan seperti **Tabel 1**.

Tabel 1. Pengaturan Siklus Tugas

Nilai <i>Crisp</i> (z)	Siklus Tugas (<i>duty cycle</i>)
0,0 – 0,2	10 %
0,2 – 0,4	20 %
0,4 – 0,6	40 %
0,6 – 0,8	75 %
> 0,8	95 %

Pembuatan program dilakukan dengan memanfaatkan software compiler BASCOM.AVR dengan perangkat pendownload STK200 dengan software PonyProg2000.

d. Uji fungsional alat

Pengujian dilakukan untuk memeriksa semua bagian dari model ini. Model dioperasikan untuk melihat berfungsinya semua bagian model pengering. Bagian yang tidak berfungsi diperbaiki untuk menghasilkan model yang siap diuji.

e. Pengumpulan dan analisa data

Pengujian sistem kendali dilakukan dalam 2 tahap, yaitu tahap simulasi dan penerapan pada model pengering. Pengujian simulasi dilakukan dengan memanfaatkan simulator yang tersedia pada software pemrograman dan diterapkan pada *plant* simulasinya. Pengujian dilakukan dengan memvariasi periode sinyal penyalaan magnetron sebesar 60, 50, 40, 30, 20, dan 10 detik. Suhu referensi yang digunakan untuk pengujian pengeringan ditentukan sebesar 50 °C.

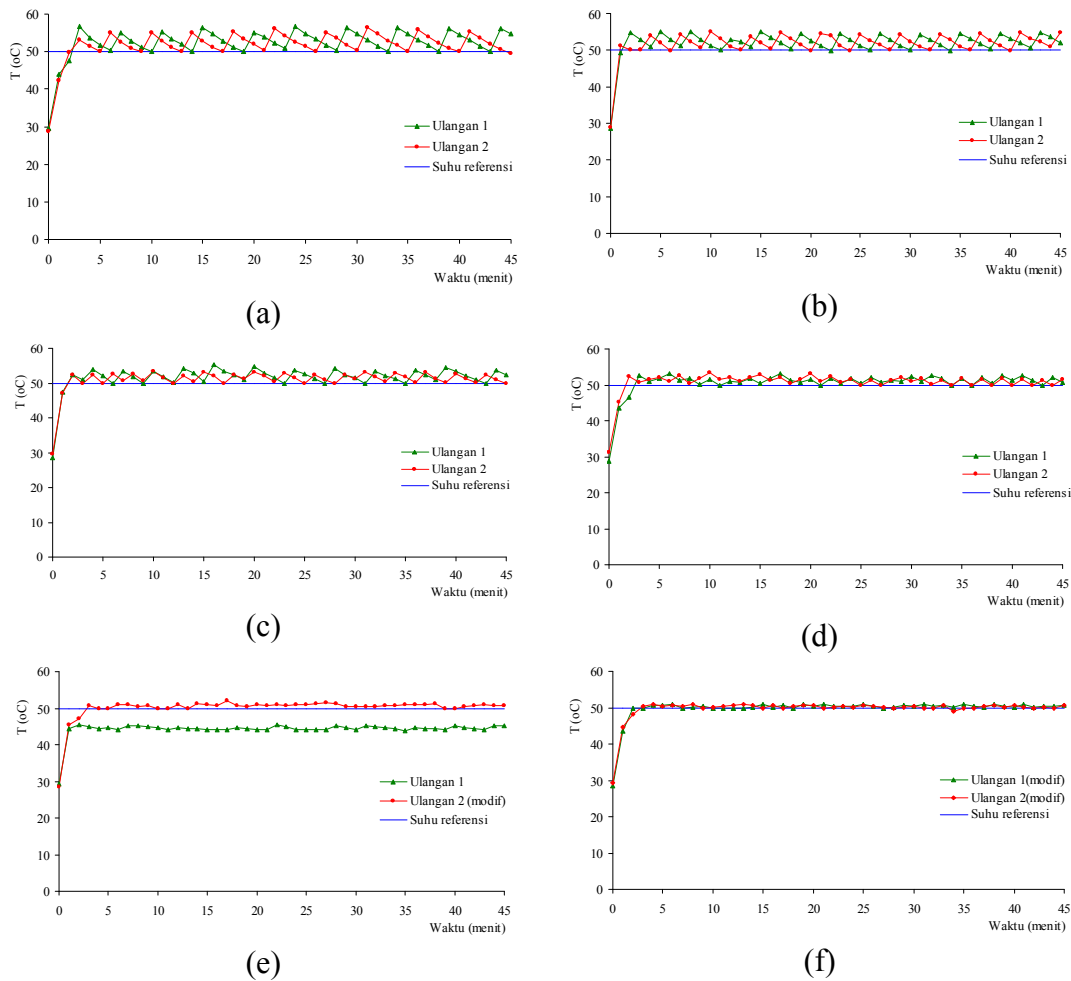
Analisa hasil pengujian dapat dibedakan menjadi dua yaitu kemampuan sistem kendali dan kemampuan model mengeringkan produk pertanian. Kemampuan sistem kendali tercermin dari kemampuannya menuju suhu referensi yang diberikan (*rise time*) dan kemampuannya mempertahankan suhu ruang pemanas sesuai suhu referensi.

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dengan *plant* simulasi dimaksudkan untuk mengetahui kinerja sistem sebelum diterapkan pada perangkat keras sesungguhnya. *Plant* yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebuah kotak yang didalamnya dipasang sebuah bola lampu pijar 100 watt sebagai pemanasnya. Hasil pengujian sistem kendali pada *plant* simulasi menunjukkan bahwa kedua rancangan dapat berfungsi dengan baik untuk semua variasi periode yang diujikan. Setelah pengujian pada *plant* simulasi, sistem diuji pada model pengering. Model pengering ini ditunjukkan pada **Gambar 11**. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat diaplikasikan untuk mengendalikan suhu model dengan sedikit modifikasi terutama pada pembacaan sensor.

Hasil pengujian sistem kendali dengan beban 0,5 kg sampel ditunjukkan pada **Gambar 12** dan **Tabel 3**. Pada periode kecil, sistem tidak mampu mencapai suhu referensi yang

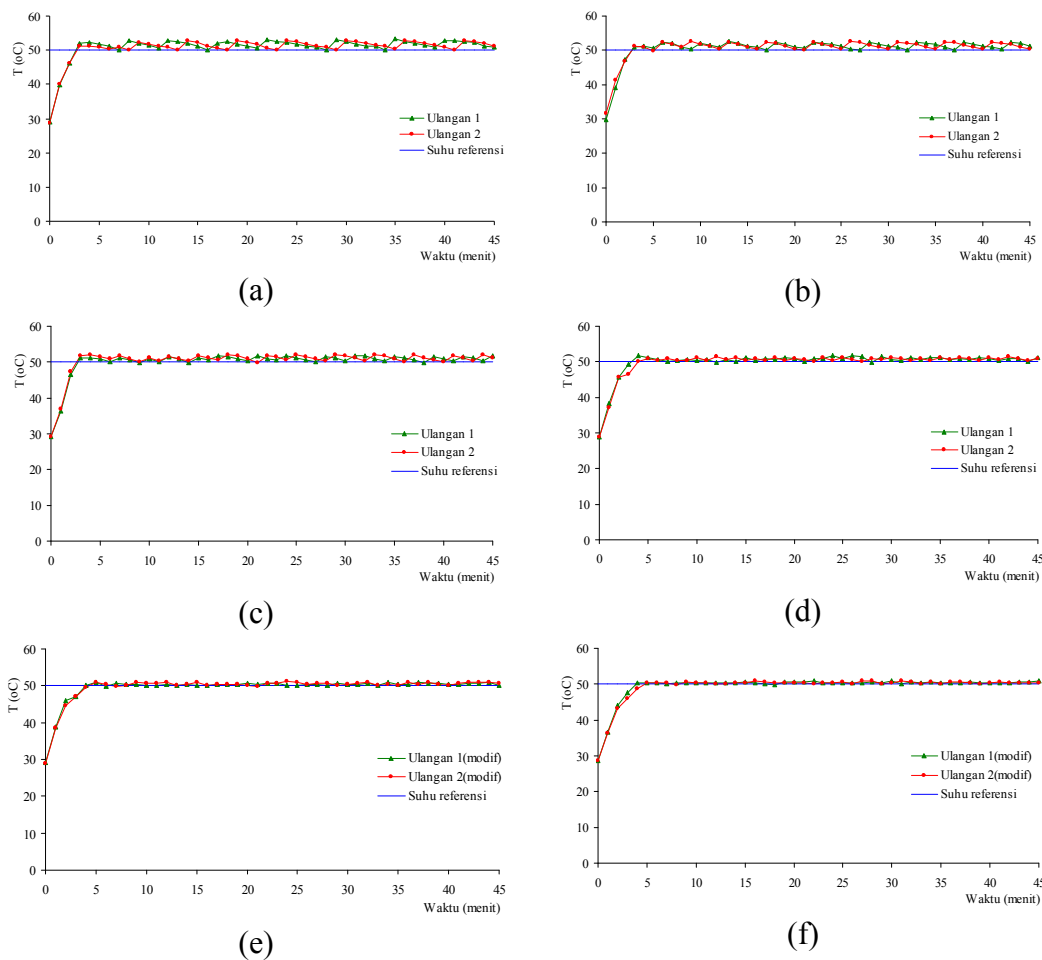
diberikan sehingga dilakukan perubahan aturan pembangkitan siklus tugasnya. Hasil pengujian dengan beban 1 kg sampel ditunjukkan pada **Gambar 13** dan **Tabel 4**.



Gambar 12. Kinerja Rancangan dengan Beban 0,5 kg Sampel; (a) periode 60 detik, (b) periode 50 detik, (c) periode 40 detik, (d) periode 30 detik, (e) periode 20 detik, (f) periode 10 detik.

Tabel 3. Kinerja Sistem Kendali dengan Beban 0,5 kg

Bahan (kg)	Periode (detik)	Waktu Bangkit (menit)	Error max (°C)	Error min (°C)	Error Rerata (°C)
0,5	60	2,5	6,607	-0,281	2,756
0,5	50	1	5,021	-0,093	2,259
0,5	40	2	4,413	-0,090	1,829
0,5	30	2,5	3,179	-0,062	1,302
0,5	20	3	1,962	-0,108	0,699
0,5	10	2	1,049	-0,496	0,344



Gambar 13. Kinerja Rancangan dengan Beban 1 kg Sampel; (a) periode 60 detik, (b) periode 50 detik, (c) periode 40 detik, (d) periode 30 detik, (e) periode 20 detik, (f) periode 10 detik.

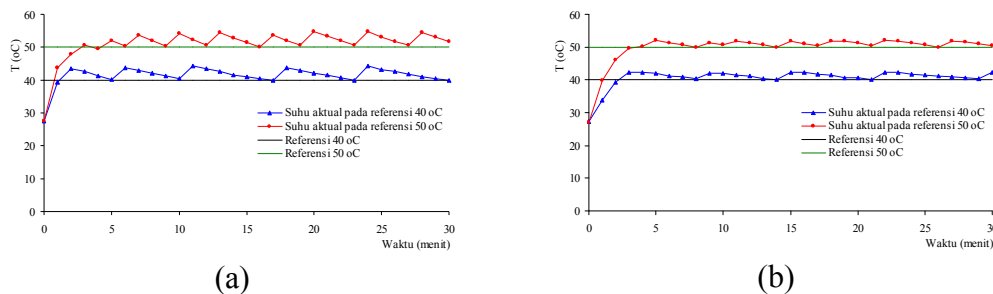
Tabel 4. Kinerja Sistem Kendali dengan Beban 1 kg

Bahan (kg)	Periode (detik)	Waktu Bangkit (menit)	Error max (°C)	Error min (°C)	Error Rerata (°C)
1	60	3	3,076	-0,074	1,573
1	50	3	2,495	-3,906	1,243
1	40	3	1,988	-0,079	1,053
1	30	3,5	1,669	-0,424	0,759
1	20	4	1,217	-0,542	0,467
1	10	4	0,961	-0,715	0,392

Berdasarkan **Tabel 3**, **Tabel 4** dapat diketahui bahwa berat bahan dan periode sinyal penyalan magnetron sangat mempengaruhi waktu bangkit dan kestabilan sistem kendali yang dirancang. Jumlah bahan sebanding dengan waktu bangkit. Ini dapat dipahami karena

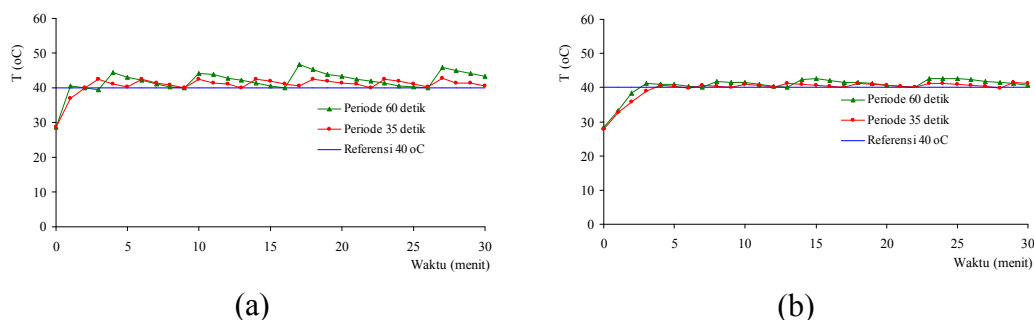
daya yang dikeluarkan oleh magnetron tetap, sementara panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebanding dengan berat bahan. Periode sinyal penyalaan magnetron juga menentukan kecepatan sistem mencapai titik referensi yang diberikan.

Penerapan periode yang besar menyebabkan terjadinya lonjakan-lonjakan suhu pada bahan yang tidak dikehendaki dalam pengeringan. Lonjakan ini dapat dikurangi dengan mengubah aturan pembangkitan siklus tugasnya. Hasil pengujian rancangan dengan periode 60 detik modifikasi ditunjukkan pada **Gambar 16**. Dari hasil pengujian ini dapat diketahui bahwa kinerja pengendalian dapat ditingkatkan dengan mengubah salah satu parameter sistem kendali.

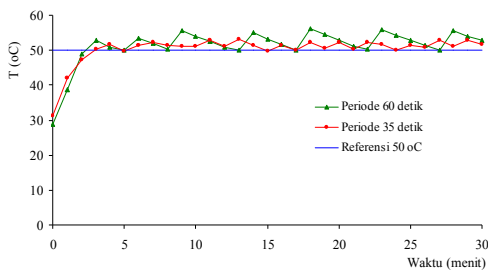


Gambar 16. Suhu bahan dalam model dengan sistem kendali pada periode 60 detik yang telah dimodifikasi pada suhu referensi 40 °C dan 50 °C; (a) berat 0,5 kg, (b) berat 1 kg

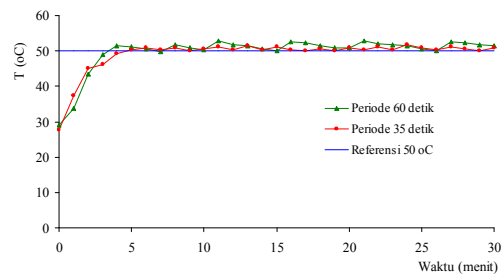
Untuk keperluan yang lebih luas, sistem kendali yang dirancang perlu dimodifikasi dengan menambahkan periode sebagai masukan sistem. Modifikasi ini memberikan kesempatan pengguna untuk mengoptimalkan kinerja sistem kendali sesuai bahan yang ingin dikeringkan. Hasil pengujian dengan variasi periode tersebut diberikan ada **Gambar 18, 19, 20 dan 21**.



Gambar 18. Suhu bahan dalam Model dengan Sistem Kendali Hasil Modifikasi pada Suhu Referensi 40 °C; (a) Berat 0,5 kg, (b) Berat 1 kg



(a)



(b)

Gambar 19. Suhu bahan dalam Model dengan Sistem Kendali Hasil Modifikasi pada Suhu Referensi 50 °C; (a) Berat 0,5 kg, (b) Berat 1 kg

Kinerja sistem kendali hasil modifikasi secara kuantitatif disajikan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa *error* maksimum dapat diperkecil dengan mengatur periode sistem kendali yang kecil. Periode dapat dimasukan pada awal pengaturan referensi sehingga lebih mudah digunakan dan memberikan kesempatan kepada pengguna untuk menentukan periode yang diinginkan.

Tabel 7. Kinerja Sistem Kendali Rancangan I Hasil Modifikasi

Bahan (kg)	Suhu Referensi (°C)	Periode 60 detik			Periode 35 detik			<i>Error</i> Rerata (°C)
		Waktu Bangkit (menit)	<i>Error</i> max (°C)	<i>Error</i> min (°C)	Waktu Bangkit (menit)	<i>Error</i> max (°C)	<i>Error</i> min (°C)	
0,5	40	1	6,528	0,536	2	2,779	0,128	1,344
0,5	50	2	6,211	1,066	3	2,957	0,141	1,384
1	40	2	2,577	1,597	3	1,481	0,986	0,599
1	50	3	2,707	1,060	4	1,619	0,842	0,575

E. KESIMPULAN

Sistem kendali dirancang menggunakan masukan suhu aktual permukaan bahan yang dibaca dengan sensor rancangan. Sistem kendali digunakan untuk mengatur siklus tugas

penyalaan magnetron pada periode yang telah ditentukan. Periode dan beban menentukan kinerja sistem kendali.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rancangan dapat digunakan untuk mengendalikan model. Kinerja sistem kendali ditentukan oleh periode dan jumlah beban yang diberikan. Rancangan dengan beban 0,5 kg jagung memberikan hasil optimum pada periode 30 detik dengan waktu bangkit 2,5 menit dan *error* rerata 1,302 °C, sedangkan dengan beban 1 kg jagung, rancangan ini memberikan hasil optimum pada periode 30 detik dengan waktu bangkit 3,5 menit dan *error* rerata 0,759 °C. Kinerja sistem kendali periode besar dapat ditingkatkan dengan mengubah pengaturan prosentase siklus tugas penyalaan magnetron.

DAFTAR PUSTAKA

- Carter, R.G. 1990. *Electromagnetic waves: microwave components and devices*. London UK: Chapman and Hall.
- Chatterjee, S., T. Basak, and S.K. Das. 2007. *Microwave driven convection in a rotating cylindrical cavity: A numerical study*. *Journal of Food Engineering* 79 (2007) 1269–1279.
- Datta, A.K. and R.C. Anantheswaran. *Handbook of Microwave Technology for Foods Applications*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Decareau, R.V. 1985. *Microwaves in the Food Processing Industry*. New York: Academic Press, Inc.
- Earle, R.L. 1983. *Unit Operations in Food Processing*. Oxford: Pergamon Press.
- Henderson, S.M. dan R.L. Perry. 1976. *Agriculture Process Engineering*. 3rd ed. The AVI Publishing Co. Inc. Westport: Connecticut.
- Hendry, J. 2007. *Akuisisi dan pengolah Data Suhu dengan Sensor Phyroelectric untuk Pengendalian Logika Fuzzy pada Pemasakan Produk Masif*. Thesis. Yogyakarta: Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Incropera, F.P. and D.P. Dewitt. 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Canada: John Willey and Sons, Inc.
- Widodo, T.S. 2004. *Pengendali Daya Pembangkit Gelombang Mikro untuk Hipertermia Medis*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro-UGM.
- _____. 2005. *Sistem Neurofuzzy*. Yogyakarta: Graha Ilmu.