Analisis Heat Exchanger Aliran Paralel Pada Pasteurisasi Sari-Buah Tomat

Nur Komar[1)] , Bambang Dwi Argo [1)] , dan Malul Akbar[2)]

1) Staf Pengajar Jur. Teknik Pertanian Fak. Tek. Pertanian Universitas Brawijaya Malang
2) Alumni Jur. Teknik Pertanian Fak. Tek. Pertanian Universitas Brawijaya Malang

ABSTRAK

Tomat (*Lycopersicum esculentum Mill*.) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang mempunyai nilai ekonomi bervitamin. Namun buah tomat mempunyai sifat mudah rusak bila disimpan dalam waktu lama karena aktivitas mikroorganisme dan struktur dari tomat itu sendiri. Salah satu penanganan pasca panen untuk menghindari pemborosan produksi yaitu pengolahan dengan pasteurisasi atau sterilisasi.

Pasteurisasi adalah pemberian panas yang relatif ringan, biasanya dikondisikan dibawah 100 ^{0}C, dimana digunakan untuk memperpanjang daya simpan dari makanan untuk beberapa hari (contoh susu) atau beberapa bulan (contoh buah dalam botol). Pasteurisasi ini melindungi makanan dengan inaktivasi dari enzim dan mikroorganisme tidak tahan panas yang bersifat merusak. (contoh bakteri tidak berspora, ragi) tetapi mengakibatkan perubahan minimal pada sifat sonsiris atau nilai nutrisi dari makanan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perubahan yang terjadi pada sistem *heat exchanger* pipa dengan metode simulasi numerik, mengetahui dimensi penukar kalor optimum hasil simulasi dan dapat membuat program simulasi komputer untuk heat exchanger pipa. Model penukar panas untuk pasteurisasi dikembangkan dengan membuat keseimbangan energi pada volume kontrol. Model ini dipecahkan dengan metode numerik serta exact solusi sebagai nilai pembanding dari metode numerik. Beberapa variabel yang dicari yaitu sebaran suhu (T) pada titik tertentu sepanjang pipa baik pipa di pemanas atau pipa yang akan dipanaskan. Selain itu juga pembentukan konstanta N_1 adalah ($U_o.\pi.D_o/m_h.C_{ph}$) pada fluida pemanas,N_2 adalah ($U_i.\ \pi.D_i\ /m_c.C_{pc}$) pada sari buah tomat untuk perhitungan paralelflow dan M_1 adalah ($U_o.\pi.D_o/m_h.C_{ph}$) pada sari buah untuk perhitungan dengan pemanas konstan.

Program komputer simulasi numerik, dikembangkan dengan menggunakan fasilitas pemrograman Turbo Pascal 7.0. Dimana program ini memiliki keunggulan yaitu bahasa pemrograman yang terstruktur. Program dikerjakan dibawah sistem operasi Windows 1998 pada komputer PC. Pengujian program simulasi komputer, menu paralel dilakukan dengan data sebagai berikut :

Cp_h = 4,18 KJ/kg ^{0}C, Cp_c = 4,007 KJ/kg ^{0}C, h_h = 0.1597 W/m$^{2\,0}$C, $\dot{m}_h$ = 0.023 kg/s, Do = 0.023 m, $\dot{m}_c$ = 0.016 kg/s , h_c = 0.1575 W/m^{20}C, Di = 0.02 m, L = 4 m, dx = 0.2, x_0 = 0 , $Th_0 = 120^0$C, $Tc_0 = 20^0$C.
menghasilkan nilai sebaran suhu konstan sebesar 65^{0}C dalam waktu 8 detik dengan panjang pipa 1 meter.

Input nilai konstanta adalah ($U_o.\pi.D_o/m_h.C_{ph}$) pada fluida pemanas,N_2 adalah ($U_i.\ \pi.D_i\ /m_c.C_{pc}$) pada sari buah tomat pada analisa paralel flow didapatkan bahwa nilai optimum diperoleh dengan membuat nilai N_2 yang tetap paling besar akan memberikan sebaran suhu yang lebih cepat naik dan konstan. Selain itu dengan nilai N1dibuat tetap dengan nilai lebih kecil akan didapatkan sebaran suhu yang cepat naik dan konstan pada N_2.

PENDAHULUAN

Buah tomat memiliki kelemahan yaitu umur simpan yang pendek dan relatif mudah rusak sehingga diperlukan penanganan yang baik setelah panen. Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang tumbuh secara cepat pada saat temperatur yang sesuai.

Pasteurisasi adalah adalah pemberian panas yang relatif ringan, biasanya dikondisikan dibawah 100 ^{0}C, dimana digunakan untuk memperpanjang daya simpan dari makanan untuk beberapa hari (contoh susu) atau beberapa bulan (contoh buah dalam botol).

Simulasi yang diawali melalui model matematika ini diharapkan dapat memprediksi variabel masukan penukar kalor tipe ganda melalui sebaran suhu yang terjadi pada dari hasil simulasi. Dimana kondisi suhu pasteurisasi pada pemanas harus dicapai sebelum masuk

holder/penahanan suhu untuk inaktivasi suatu mikroorganisme.

METODE PENELITIAN

Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan Juni 2002 sampai dengan Juli 2002 di lokasi, yaitu laboratorium komputer TSSU Jurusan Teknik Pertanian Universitas Brawijaya Malang untuk pengujian

Alat Penelitian

Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu Seperangkat komputer personal tipe pentium II dengan operasi di bawah sistem windows 98. Perangkat lunak Turbo Pascal 7.0 dirilis oleh Borland International Incorporation untuk pembuatan simulasi.

Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini yaitu mencari dan mengumpulkan data, informasi-informasi dan konsep-konsep yang bersifat teoritis dari literatur-literatur dan bahan kuliah yang berkaitan dengan permasalahan. Setelah itu merancang sistem yaitu membentuk suatu kontrol volume kemudian disimulasi, sehingga dapat diimplementasikan kedalam bahasa komputer. Hasil perancangan sistem yang telah dianalisa diimplementasikan ke dalam bahasa program Borland Pascal versi 7.0 untuk dibuat simulasinya.

Pembentukan Model

Model atau persamaan yang dikembangkan berdasarkan keseimbangan energi pada pada sistem pemanas dan tabung sari buah.

Pemanas

$$\left\{\begin{matrix}\text{energi masuk}\\ \text{fluida panas}\end{matrix}\right\}-\left\{\begin{matrix}\text{energi } \textit{keluar}\\ \text{fluida panas}\end{matrix}\right\}-\left\{\begin{matrix}\text{panas ditransfer}\\ \text{menuju dinding}\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}\text{energi disimpan}\\ \text{pada fluida panas}\end{matrix}\right\}$$

$$\dot{m}_h C_h T_h - \dot{m}_h C_h\left(T_h + \frac{\partial T_h}{\partial x}\delta x\right) - h_h\left(S\frac{\delta x}{L}\right)(T_h - T_w) = \frac{\dot{m}_h \delta x}{u_h} C_h \frac{\partial T_h}{\partial t}$$

$$\frac{\partial T_h}{\partial t} + u_h \frac{\partial T_h}{\partial x} = -\frac{h_h S}{\dot{m} C_h}.\frac{u_h}{L}(T_h - T_w)$$

Sari Buah

$$\left\{\begin{matrix}\text{energi masuk}\\ \text{dgn fluida dingin}\end{matrix}\right\}-\left\{\begin{matrix}\text{energi keluar}\\ \text{dgn Fluida dingin}\end{matrix}\right\}+\left\{\begin{matrix}\text{panas ditransfer}\\ \text{ke dinding}\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}\text{energi tersimpan}\\ \text{pada fluida panas}\end{matrix}\right\}$$

$$\dot{m}_c C_c T_c - \dot{m}_c C_c\left(T_c + \frac{\partial T_c}{\partial x}\delta x\right) + h_c\left(S\frac{\delta x}{L}\right)(T_w - T_c) = \frac{\dot{m}_c \delta x}{u_c} C_h \frac{\partial T_c}{\partial t}$$

atau

$$\frac{\partial T_c}{\partial t} + u_c \frac{\partial T_c}{\partial x} = +\frac{h_c S}{\dot{m} C_c}.\frac{u_c}{L}(T_w - T_c)$$

Menurut Smith, 1999 dengan asumsi tidak ada konduksi secara longitudinal pada dinding, tidak ada energi tersimpan pada fluida atau dinding (transients), tidak ada panas digenerasikan pada fluida dan dinding, dan tidak ada kehilangan energi kelingkungan (eksternal) maka konservasi energi secara *paralel flow* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dT_h}{dx} = -\frac{US}{\dot{m}_h C_h}\frac{1}{L}(T_h - T_c)$$

dimana $S = \pi . Do. L$, sehingga

$$\frac{dT_h}{dx} = -\frac{U.\pi.D}{\dot{m} C_p}(T_h - T_c) = -N1(T_h - T_c)$$

sedangkan untuk fluida yang akan dipanaskan (sari buah tomat):

$$\frac{dT_c}{dx} = + \frac{US}{\dot{m}_c C_c} \frac{1}{L} (T_h - T_c)$$

atau

$$\frac{dT_c}{dx} = \frac{U\pi D}{\dot{m} C_p} (T_h - T_c) = N2 (T_h - T_c)$$

Untuk menganalisa keseimbangan yang terjadi pada suatu pemanasan yang konstan (pemanas berasal dari *steam*)dapat dirumuskan persamaan keseimbangan energi yang hampir sama dengan analisa pada paralel flow yang dirumuskan sebagai berikut

$$\frac{dT_c}{dx} = + \frac{US}{\dot{m}_c C_c} \frac{1}{L} (T_s - T_c)$$

dimana nilai dari T_h akan bernilai tetap.
atau

$$\frac{dT_c}{dx} = \frac{\pi D_i . h_i}{\dot{m} Cp} (T_s - T_c) = M1 (Ts - T_c)$$

Pemecahan persamaan tersebut yang berupa persamaan differensial berorde dapat dipecahkan menggunakan pemecahan numerik dengan metode Runge-Kutta orde-empat untuk mendapatkan nilai kesalahan yang makin kecil dimana persamaan ini dapat dirumuskan sebagai berikut :
Untuk semua persamaan diatas berbentuk persamaan orde pertama, dengan Metode Runge-Kutta dituliskan sebagai:

$$\frac{dT}{dx} = F(x, T)$$

dengan kondisi batas
$T(x_o) = T_o$

Asumsi-asumsi

Untuk mengembangkan model *heat exchanger* pipa, diperlukan asumsi-asumsi sebagai berikut : Kehilangan panas pada pipa pemanas dan bahan ke lingkungan diabaikan, dimana kasus penukar kalor hanya antara pemanas dan fluida dingin, Konduksi aksial sepanjang tabung diabaikan, Perubahan energi potensial dan kinetik diabaikan, Panas spesifik adalah konstan, Koefisien pindah panas bernilai konstan, Laju aliran *fluida* adalah konstan tiap titik, Komposisi kimia, sifat fisik dan sifat biologis bahan adalah homogen, Suhu sari buah tomat (bahan) pada awal proses adalah seragam, Mengabaikan faktor pengotoran pada pipa pemanas, Fluida bersifat incompressible.

Diagram Alir Proses

Diagram alir proses untuk menghitung simulasi penukar kalor seperti ditunjukkan pada lampiran 1, sedangkan diagram alir Runge-Kutta orde empat ditunjukkan pada lampiran 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Program

Hasil pengujian program metode paralel flow dengan data : Cp_h = 4,18 KJ/kg ^{0}C, Cp_c = 4,007 KJ/kg ^{0}C, h_h = 0.1597 W/m^2 ^{0}C, $\dot{m}_h$ = 0.023 kg/s, Do = 0.023 m, $\dot{m}_c$ = 0.016 kg/s , h_c = 0.1575 W/m^{20}C, Di = 0.02 m, L = 4 m, dx = 0.2, x_0 = 0 , Th_0 = 120^{0}C, Tc_0 = 20^{0}C dapat dilihat pada gambar 1. Dari hasil tersebut dapat diketahui sebaran akan mencapai nilai suhu yang konstan pada jarak 1,6 m dengan suhu pemanas 65,284 ^{0}C dan suhu sari buah tomat 65, 2681^{0}C. Untuk

mencapai suhu ini ditempuh selama 12 detik.

Pengaruh nilai konstanta N_1 dan N_2 metode paralel dan M_1 metode pemanas konstan

Nilai N1(perbandingan variabel bebas luas pindah panas dengan selang x dengan aliran massa pemanas dan panas spesifik pemanas) dan N_2 (hasil perbandingan variabel bebas antara luas pindah panas dengan selang x yang sama dengan aliran massa sari buah tomat dikalikan panas spesifiknya) merupakan gabungan nilai bebas yang menentukan besarnya sebaran suhu yang terjadi pada sebuah simulasi dan dari sebaran inilah memungkinkan perancang untuk membuat sebuah rancangan dengan masukkan yang lebih valid. Untuk memberikan data konstanta N_1 dan N_2 dapat menggunakan nilai trial dan error atau coba-coba. Tampilan grafik dari metode ini dapat dilihat pada gambar 2 dan 3 untuk nilai N_1 berubah sedangkan nilai N_2 dibuat tetap dan pada gambar 4 dan 5 nilai N_2 berubah sedangkan nilai N_1 dibuat tetap. Data untuk optimasi sebaran suhu dapat dilihat pada tabel 1. Dengan membuat varibel bebas panjang 2 meter selang perubahan/iterasi sebanyak 20 kali dan kisaran 0.1 meter .

Dari gambar dengan melihat pengaruh nilai N_1 berbeda dan N_2 tetap atau antara nilai N_1 tetap dan N_2 yang berbeda akan didapatkan perbedaan yang dapat dilihat pada grafik tersebut. Dengan membandingkan antara nilai N_2 = 0,154355 dan N_2 = 0,58802 pada Gambar 2 dan 3 akan didapatkan bahwa dengan nilai N_2 yang lebih besar akan didapatkan sebaran suhu yang lebih cepat naik dan konstan. Dilain pihak dari gambar 4 dan 5 didapatkan dengan nilai N_1 = 0.198792 akan didapatkan sebaran suhu yang cepat naik dan konstan.

Sedangkan pada pemanas konstan didapatkan dengan semakin kecilnya nilai M1 akan didapatkan nilai sebaran suhu yang cepat naik dan konstan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengujian program simulasi paralel flow menggunakan data masukan sari buah tomat sebagai berikut: Cp = 4.18 KJ/kg^{0}C, $Cp_{sari\ buah}$ = 4.007 KJ/kg^{0}C, h_h = 0.1597 kW/m^{20}C, m = 0.023 kg/s, Do = 0.023 m_h = 0.016 kg/s , h_c = 0.1575 kW/m^{20}C, Di = 0.02 m, L = 4 m, dx = 0.2, x_0 = 0 , Th_0 = 100^{0}C, Tc_0 = 20^{0}C. akan mencapai suhu konstan sebesar 65^{0}C dalam waktu 8 detik dengan panjang 1 meter.

Dengan membuat nilai konstanta $N_1(U_0.\pi.D_0/m_h.C_{ph})$ yang merupakan nilai variabel pemanas hasil perbandingan luas pindah panas tiap selang x dengan aliran massa pemanas dikalikan panas spesifiknya dan N_2 $(U_i.\pi.D_i/m_c.C_{pc})$ variabel sari buah merupakan hasil perbandingan luas pindah panas tiap selang x dengan aliran massa pemanas dikalikan panas spesifiknya. Analisa paralel flow didapatkan bahwa dengan membuat nilai N_2 tetap yang paling besar akan didapatkan sebaran suhu yang lebih cepat naik dan konstan. Sedangkan dengan nilai N_1 lebih kecil akan didapatkan sebaran suhu yang cepat naik dan konstan pada N2 yang dirubah nilai variabelnya.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya tentang simulasi penukar kalor sebaiknya menggunakan metode Unsteady State. Selain itu pemberian nilai yang valid akan memberikan hasil yag paling memuaskan. Untuk menghitung keluaran simulasi dapat menggunakan program software untuk desain dan simulasi seperti Matlab, MATHCAD, Maple, dan lain-lain dari program CAD.

Daftar Pustaka

Adams, J.A dan Rogers, D.F. 1973. ***Computer-Aided Heat Transfer Analysis.*** McGRAW-HILL KOGAKUSHA. Tokyo.

Anonymous. 1993. ***Tomat***; ***Pembudidayaan Secara Komersial***. Penebar Swadaya, Jakarta.

Astawan, M., dan Wahyuni, M. 1991. ***Teknologi Pengolahan Pangan Nabati Tepat Guna.*** Akademi Preassindo. Jakarta.

Baverloo, W.A., and Leniger, H.A. 1975. ***Food Process Engineering***. D. Reidel Publishing Co. Boston.

Bird, R.B., Steward W.E., and Lightfood, E.N., 1960***. Fenomena Transport***. John Wiley & Sons Inc. New York.

Buckle, K.A, Edwards, R.A., Fleet, G.H., and Wootton, W. 1987. ***Ilmu Pangan*** (diterjemahkan oleh Purnomo dan Adiono). Universitas Indonesia. Jakarta.

Campbell, J.R, R.T. Marshall. 1975 ***The Science of Providing Milk for Man***. McGraw-Hill Book Co. New York.

Cengel, E.Y. 1998. ***Heat Transfer***. McGRAW-HILL. USA.

Datta, A.K. 1991. ***Thermal sterilization of Liquid Foods***. In Encyclopedia of food science and technology. pp. 2566-2578. John Wiley. New York.

Fellow, F.J. 1992. ***Food Processing Technology***. Ellis Horwood Limited. England.

Geankoplis C.J. 1983. ***Transport Processes and Unit Operations.*** second edition, Allyn and Bacon, inc. Boston.

Hadiwiyoto, H. 1983. ***Hasil Olahan Susu, Ikan, Daging, dan Telur***. Liberty. Yogyakarta.

Harris, R.S., dan Karamas, E. 1989. ***Evaluasi Gizi dalam Pengolahan Pangan***. Penerbit ITB. Bandung.

Holman, J.P. 1984. ***Perpindahan Kalor*** (diterjemahkan oleh Jasfi). Penerbit Erlangga. Jakarta.

Istiyastuti dan Yanuharso, T. 1996. ***Budidaya Aneka Tanaman Pangan***. Trigenda Karya. Bandung.

Incropera, F.P. 1996. ***Fundamental of Heat and Mass Transfer***. John Willey and Sons. New York.

Jaluria Y. 1999. ***Design and Optimization of Thermal Systems***. McGraw-Hill Companies. New York.

Kern, D.Q. 1988. ***Process Heat Transfer***. McGraw-Hill Companies. New York.

Kreith, F. 1994. ***Prinsip-prinsip Pindah Panas***. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Muchtadi, D. 1979. ***Teknologi Proses Pengolahan Pangan***. IPB. Bogor.

Rietz, C.A. and Wilson, S.P. 1964. ***Heat Exchange and Heat Exchanger***. In Food Processing packaging of heat preserved foods, pp. 231-258, AVI Publication Co., Westport CT.

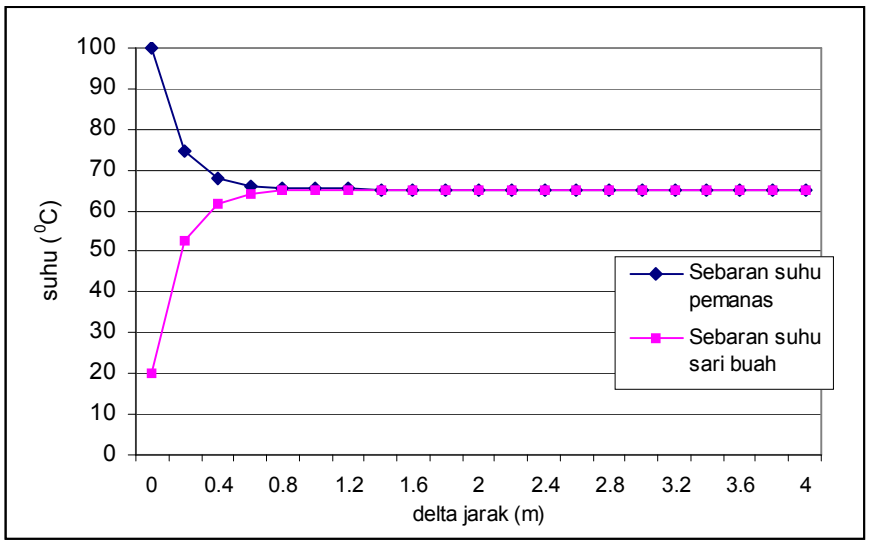
Smith, E.M. 1999. ***Thermal Design of Heat Exchanger : a numerical approach – direct sizing and stepwise rating***. John Wiley and Sons. England.

Suyatno. 2000. ***Studi Prototype Alat Pasteurisasi Proses Penahanan (Holding) dengan Aliran Bahan Kontinyu Untuk Inaktivasi Bakteri Clostridium pasteurianum dalam Sari Buah Tomat (Lycopersicum esculentum Mill.)***, Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.

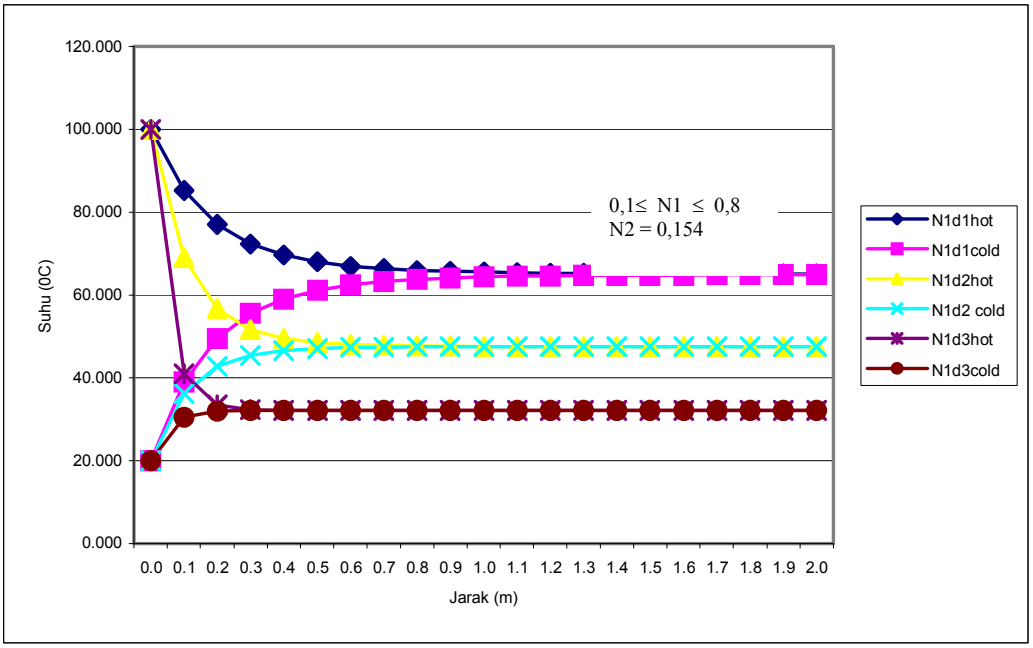
Toledo R.T. 1981. ***Fundamentals of Food Process Engineering***. AVI Publishing Company. Connecticut.

Tressler, D.K., and Joslyn, M.A. 1961. ***Fruit and Vegetables Juice-Processing Technology***. The AVI Publishing Company, Inc. London

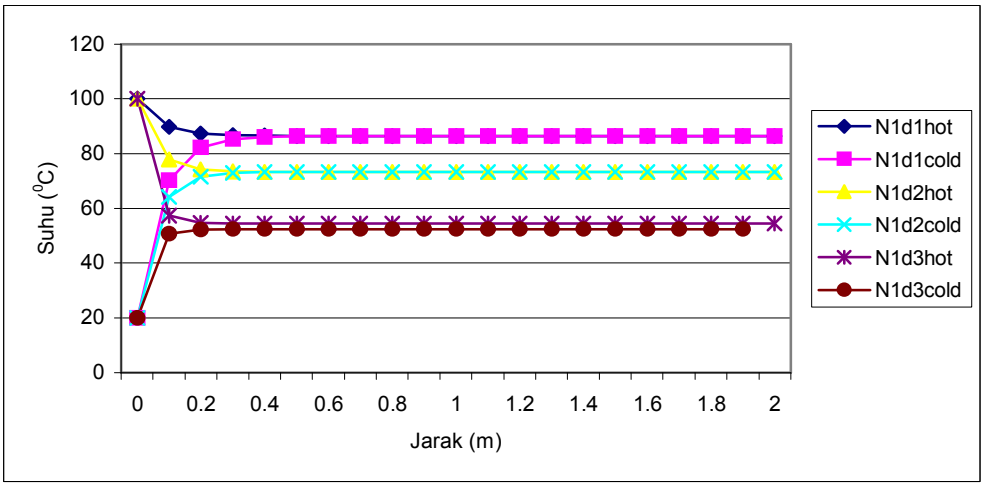
Tugiyono, H. 1999. ***Bertanam Tomat***. Penebar Swadaya. Jakarta.



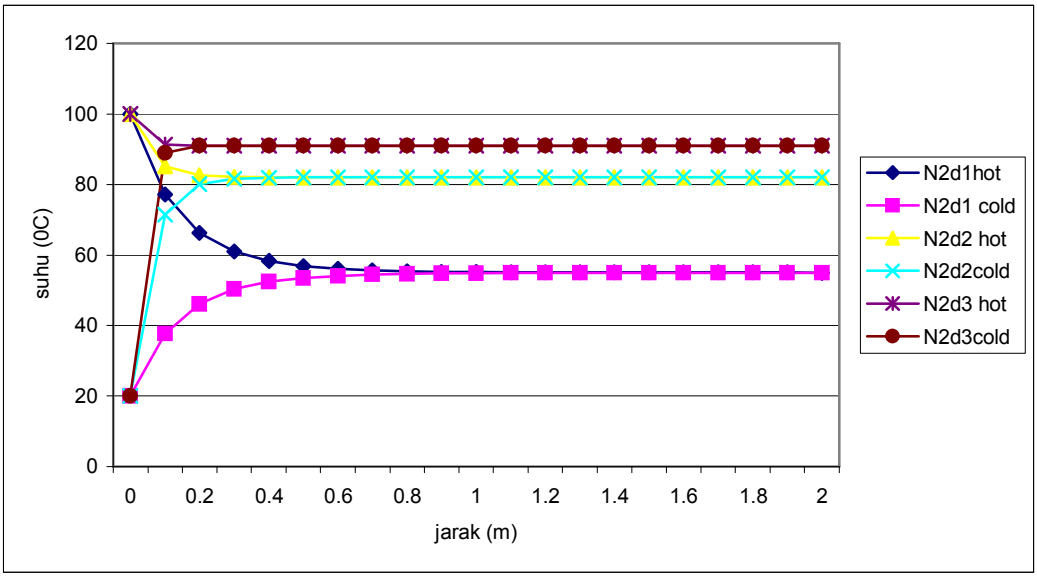
Gambar 1 Sebaran suhu hasil running program



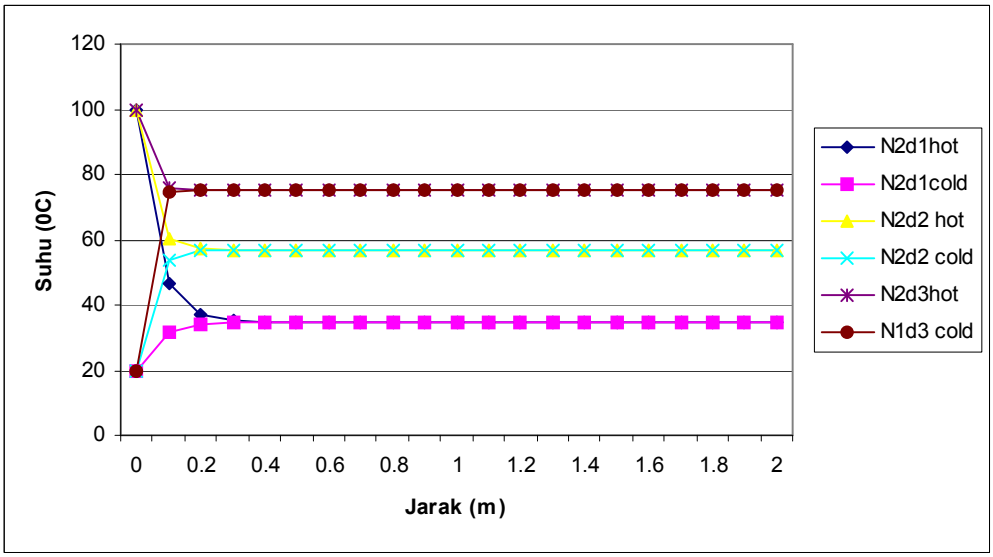
Gambar 2 Grafik nilai sebaran suhu dengan nilai N1 pemanas berubah dan N2 sari buah = 0.154355



Gambar 3 Grafik sebaran suhu dengan nilai N1 bebas dan N2 = 0.58802



Gambar 4 Grafik sebaran suhu dengan N2 berubah N1 =0.198792



Gambar 5 Grafik sebaran suhu dengan nilai N2 bebas, N1=0.691451

Tabel 1 . Data Sebaran Konstanta N_1,N_2,M_1

Data sebaran N_1

no	Ho ($W/m^{20}C$)	mh (kg/s)	Cph (kJ/kg^0C)	Do1(m)	N1
1	0.1597	0.023	4.18	0.023	0.120027
2	0.23	0.02	4.18	0.023	0.198792
3	0.34	0.02	4.18	0.023	0.293867
4	0.48	0.02	4.18	0.023	0.414871
5	0.58	0.02	4.18	0.023	0.501302
6	0.8	0.02	4.18	0.023	0.691451
7	0.9	0.02	4.18	0.023	0.777882

8	1	0.02	4.18	0.023	0.864314
9	1.1	0.02	4.18	0.023	0.950745
10	0.25	0.004	4.18	0.023	1.080392
11	1.8	0.02	4.18	0.023	1.555765

Sebaran data N_2

no	Hi($W/m^{20}C$)	mh (kg/s)	Cph(kJ/kg^0C)	Do1(m)	N2
1	0.1575	0.016	4.007	0.02	0.154355
2	0.45	0.02	4.007	0.02	0.352812
3	0.6	0.016	4.007	0.02	0.58802
4	0.7	0.016	4.007	0.02	0.686023
5	0.8	0.016	4.007	0.02	0.784026
6	0.98	0.016	4.007	0.02	0.960432
7	1.6	0.016	4.007	0.02	1.568052

Sebaran data M_1

no	Hi($W/m^{20}C$)	mh(kg/s)	Cph(kJ/kg^0C)	Do1(m)	N2
1	0.1575	0.016	4.007	0.02	0.154355
2	0.45	0.02	4.007	0.02	0.352812
3	0.6	0.016	4.007	0.02	0.58802
4	0.7	0.016	4.007	0.02	0.686023
5	0.98	0.016	4.007	0.02	0.960432
6	1.6	0.016	4.007	0.02	1.568052

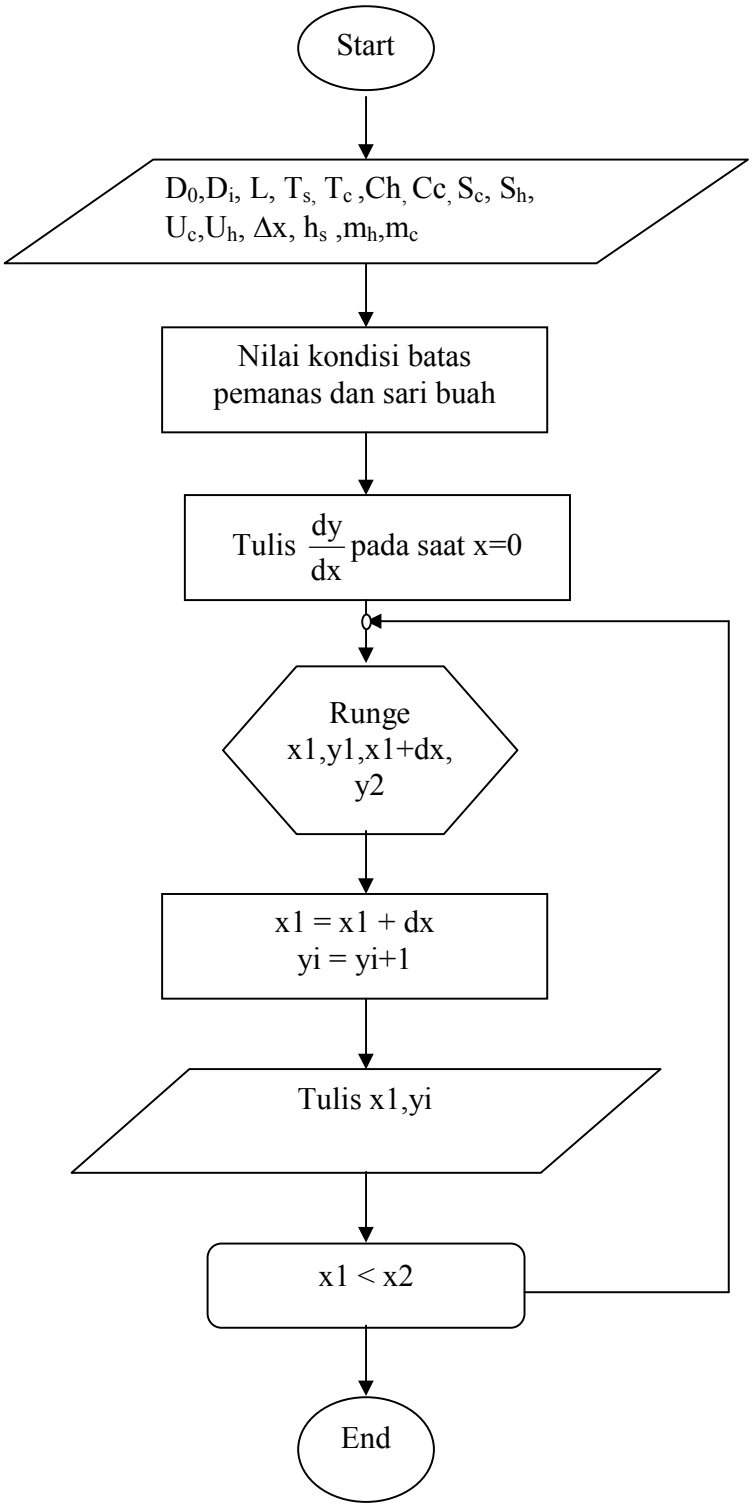
Keterangan :

$N_1 = (h_0.\pi.D_0/m_h.C_{ph})$

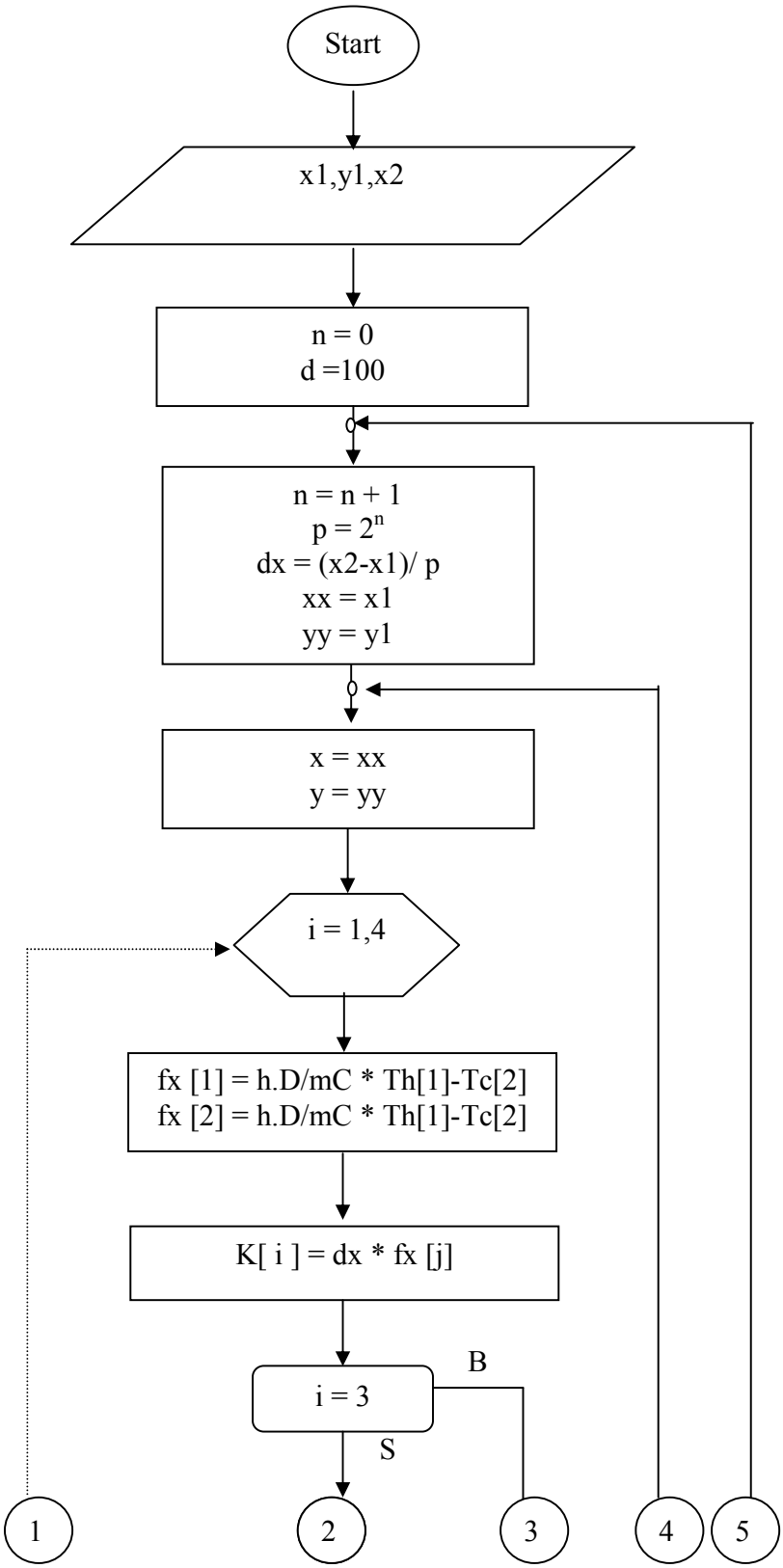
$N_2 = (h_i.\pi.D_i/m_c.C_{ph})$

$M_1 = (U_i.\pi.D_i/mh.Cph)$

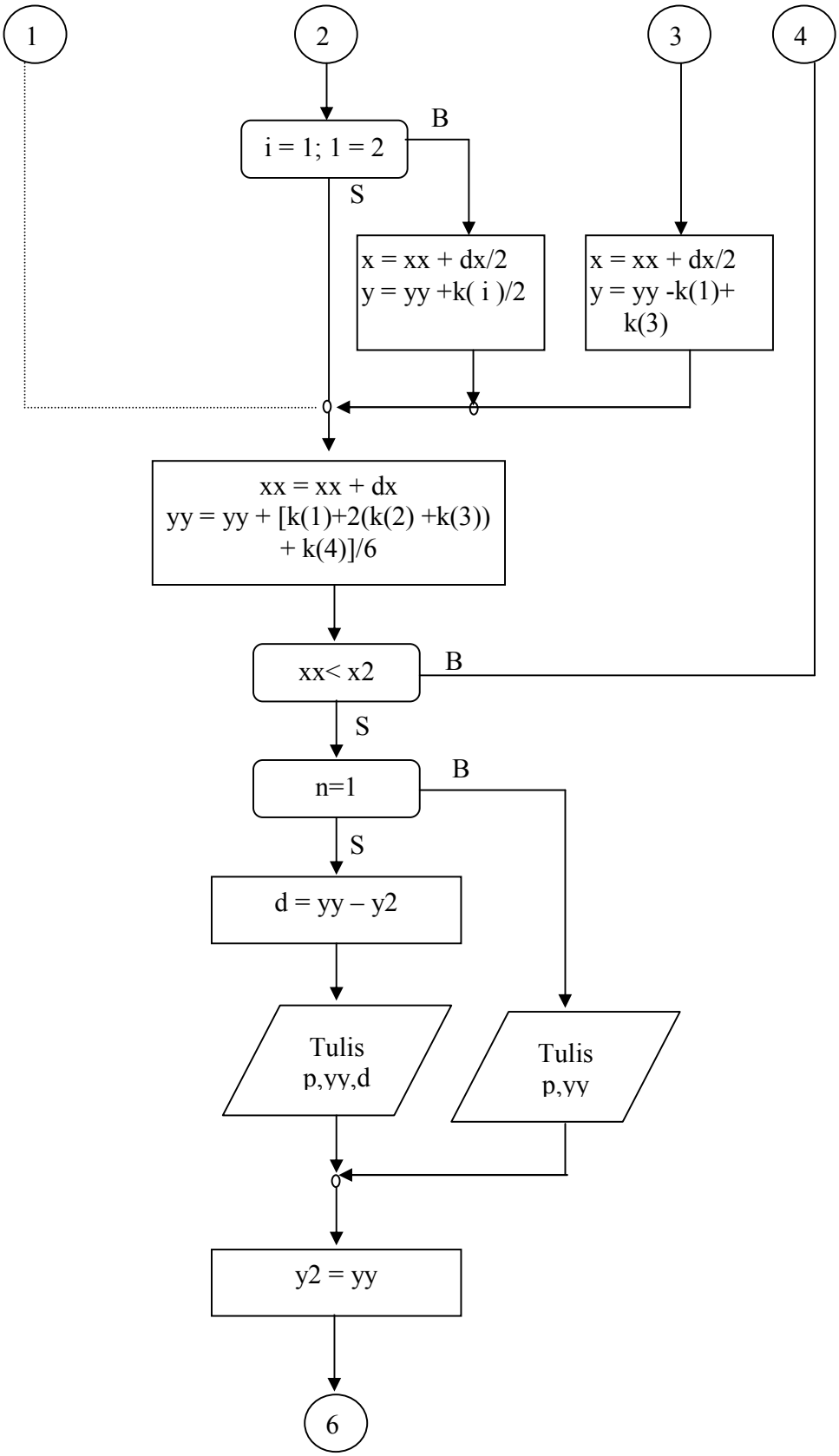
Lampiran 1.



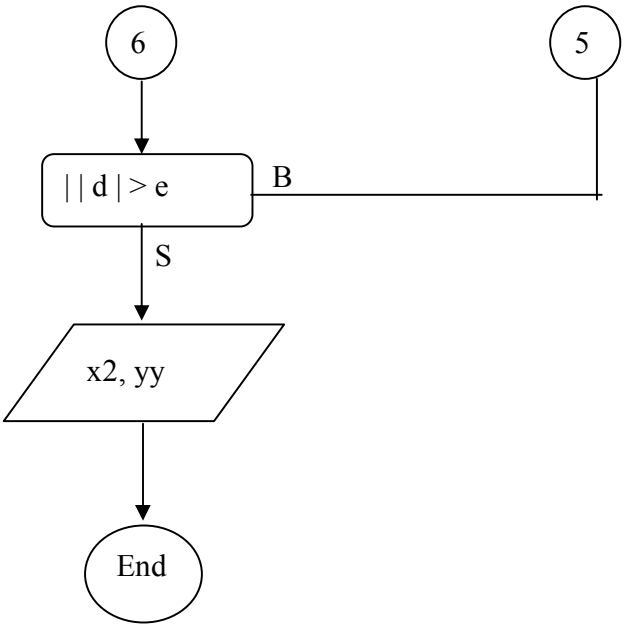
Gambar 3-3 Diagram alir proses perhitungan



Gambar 3-4 Diagram alir Runge Kutta orde 4



Gambar 3-4 Lanjutan



Gambar 3-4 Lanjutan