

ANALISIS KORELASI KONDISI PEMBUATAN FILM TIPIS POLIPROPILEN (PP) DAN SIFAT-SIFAT MEKANIKNYA DENGAN METODE UJI TARIK

Kartika Sari¹⁾ Rahmat Satoto²⁾

1) Program Studi Fisika Jurusan MIPA FST Universitas Jenderal Soedirman

2) LIPI Bandung

e-mail : tikasari_tasroh@yahoo.co.id

Abstract

Condition Correlation Analysis of Thin Film Polypropylene (PP) and Attributes Mechanical Tensile Testing Method has been performed in Polymer Test Lab located at LIPI Bandung. This study aims to examine the relationship between the manufacture of thin film with a three-sifat sistem cooling and mechanical properties. Sample material used is Polypropylene (PP) Y101XX grain pellets. Then the material is arranged on the aluminum frame of the heating plate and plastic transparencies of six samples. Such materials will be heated with two variations of temperature at the same time given the pressure by using the hot press Gonno-02 326 at 175oC and 225oC and given three different treatment when the cooling process that is in the chill with ice water (quenching), in the chill on cold press and cooled until it reaches room temperature by turning off the heater. Samples that have formed a thin film forming dipotopng Dumbbell type ISO 527-2. Of the six films produced by two samples with different cooling systems made seven Dumbbell. Then Dumbbell-dumbbell was conducted testing of mechanical properties by measuring the strain, stress and elastic modulus using a tensile test using a Universal Tensile Tester.

Keywords: Polypropylene (PP), Thin Film, Universal Tensile Tester

Abstrak

Analisis Korelasi Kondisi Pembuatan Film Tipis Polipropilen (PP) dan Sifat-Sifat MekaniKNYA dengan Metode Uji Tarik telah dilakukan di Lab Uji Polimer yang bertempat di LIPI Bandung. Penelitian ini bertujuan mengetahui hubungan antara pembuatan film tipis dengan tiga sistem pendinginan dan sifat-sifat mekanikNYA. Bahan sampel yang digunakan adalah Polipropilen (PP) Y101XX berbentuk butiran pelet. Kemudian bahan tersebut disusun pada bingkai almunium diantara plat pemanas dan plastik transparansi sebanyak enam sampel. Bahan tersebut akan dipanaskan dengan dua variasi suhu sekaligus diberi tekanan dengan menggunakan hot press Gonno-02326 pada 175°C dan 225°C serta diberi tiga perlakuan yang berbeda ketika proses pendinginan yaitu di dinginkan dengan air es (quenching), di dinginkan pada cold press dan didinginkan hingga mencapai suhu kamar dengan cara mematikan heater. Sampel-sampel yang sudah membentuk film tipis dipotopng membentuk Dumbbell type ISO 527-2. Dari enam film tipis yang dihasilkan dua sampel dengan sistem pendinginan yang berbeda dibuat tujuh Dumbbell. Kemudian Dumbbell-dumbbell tersebut dilakukan pengujian terhadap sifat-sifat mekanikNYA dengan mengukur Regangan (strain), Tegangan (stress) dan modulus elastis dengan metode uji tarik menggunakan alat Universal Tensile Tester.

Kata kunci: Polipropilen (PP), Film Tipis, Universal Tensile Tester

PENDAHULUAN

Di dalam industri polimer ada tiga klasifikasi utama polimer : plastik, serat, dan karet. Perbedaan dan kegunaan produk akhir dari tiga tipe polimer ini didasarkan pada tingkat yang besar dan mekanik khusus polimer yang

disebut *modulus*, dalam istilah yang lebih umum mempunyai arti kekakuan (shiffness). Bahan-bahan yang termasuk kedalam kelompok polimer diantaranya adalah *Polypropilene* (PP). Dalam bahasa komersilnya lebih dikenal dengan nama plastik, karena bahan

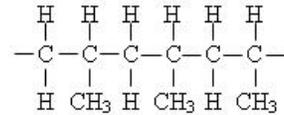
tersebut bersifat termoplastik yang dibuat secara sintesis.

Dalam bidang industri pembuatan dan penggunaan polimer sintesis memainkan peranan utama dalam perekonomian masyarakat industri modern. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting dibidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, furnitur, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak-anak dan produk-produk industri lainnya. contohnya tali, karpet, alat tulis, berbagai tipe wadah pakai ulang, perlengkapan laboratorium, dan komponen otomotif.

Karakteristik secara fisik dari polimer salah satunya ditentukan oleh perbedaan struktur dari rantai molekul. Struktur molekul dapat dibedakan menjadi linier, bercabang, sambung silang dan jaringan. Oleh karena itu molekul besar polimer dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana. Jika pengulangan kesatuan berulang itu lurus, maka molekul-molekul polimer digambarkan sebagai molekul rantai linier atau rantai polimer. Beberapa rantai lurus atau bercabang dapat bergabung melalui sambungan silang membentuk polimer sambung silang (*cross link*). Jika sambungan silang terjadi ke berbagai arah maka akan terbentuk polimer sambung silang tiga dimensi (polimer jaringan). Kesatuan berulang pada polimer setara atau hampir setara dengan monomer yaitu bahan dasar pembuat polimer.

Polipropilena adalah semikristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Monomer-monomer yang menyusun rantai polipropilena adalah propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Propilena merupakan senyawa vinil yang mempunyai struktur $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$. Nama kimia dari polipropilena adalah poli (1-metiletilena) dengan

formula kimia $(\text{C}_3\text{H}_6)_x$. Polipropilena mempunyai titik lebur 165°C , suhu transisi gelas -10°C dan titik degradasi 286°C . Titik kristalisasinya $130-135^\circ\text{C}$ (Cowd, 1991)[4].



Gambar 1. Kesatuan berulang pada polipropilena.

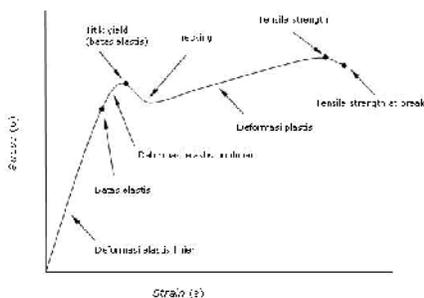
Polimer dapat mengandung daerah berkrystal dan amorf, maka sifat polimer dapat berubah dalam rentangan suhu yang kecil, sebagai akibat adanya dua proses pada dua daerah tadi. Pertama, perubahan sifat polimer dapat terjadi akibat pelelehan kristalit (bagian kristal). Pelelehan pada dasarnya merupakan perenggangan rantai-rantai dalam daerah berkrystal, sehingga memungkinkan polimer mampu mengalir. Kondisi dimana polimer meleleh disebut sebagai titik leleh, Temperatur leleh T_m (*melting point*).

Perubahan suhu sangat berpengaruh terhadap polimer. Kenaikan suhu hingga mencapai suhu di atas T_m dapat menyebabkan deformasi polimer. Dengan turunnya suhu dan kekentalan lelehan polimer meningkat, maka gerakan rantai polimer tak teratur yang disebabkan oleh bahang akan berkurang pada tingkat tertentu, yaitu sampai gaya tarik antar rantai mengatasi energi kinetik gerakan bahang rantai. Jika rantai mempunyai keteraturan struktur dan cukup leluasa bergerak meluruskan masing-masing ketika suhu turun, kekristalan dapat ditumbuhkan pada polimer. Akan tetapi, sekalipun struktur rantai teratur, ketidakteraturan daerah lelehan dapat dibekukan ketika polimer memadat sehingga terjadi pembentukan daerah amorf. Jika polimer yang mampu mengkristal berada dalam keadaan lelehan, seringkali keadaan berupa cairan yang kental dan cukup bening. Ketika lelehan polimer itu

mendingin dan mamadat, wujudnya menjadi sedikit keruh karena adanya kristalit-kristalit halus yang dihasilkan dalam polimer padat. Laju pendinginan yang lambat memungkinkan kristalisasi lebih besar.^[6] Sifat-sifat mekanik polimer merupakan aspek yang sangat mendasar. Meskipun sifat-sifat lainnya seperti ketahanan nyala, stabilitas termal, dan ketahanan kimia mempunyai kaitan dalam aplikasi yang tepat untuk kombinasi suatu bahan polimer [3].

Sifat-sifat polimer yang harus diperhatikan untuk suatu produk diantaranya kekuatan tarikan (modulus elastis), kompresif, flektur, tahan benturan. Sifat-sifat terkait mencakup kekerasan, ketahanan abrasi dan ketahanan sobek. Penelitian tentang sifat-sifat mekanik polimer ini dibatasi hanya untuk menguji kekuatan tarik dari bahan polipropilen berbentuk film tipis.

Kekuatan tarik sering dijadikan sebagai suatu sistem yang menunjukkan kualitas suatu bahan polimer, walaupun hasilnya tidak menggambarkan keadaan susunan molekulnya. Jika suatu bahan polimer mengalami penambahan tegangan (stress), maka terdapat juga perubahan regangan (strain). Jika diplot dalam grafik, maka diperoleh kurva stress-strain seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Kurva Stress-Strain.

Kurva diatas memberikan informasi tentang deformasi dan sifat mekanik dari bahan polimer. Pada bagian awal kurva terjadi deformasi elastis linier, dimana tegangan (stress) dan regangan (strain) berbanding lurus

hingga batas proporsional. Batas proporsional grafik adalah batas yang menunjukkan Hubungan proporsional antara stress-strain pada daerah ini memenuhi hukum hooke. Setelah batas ini dilewati, maka kurva mengalami deformasi elastis nonlinier hingga mencapai batas elastis (titik yield), walaupun elastis nonlinier tetapi masih bisa kembali kebentuk semula walaupun gaya yang bekerja dihilangkan.

Beberapa parameter yang diperoleh dari kurva stress-strain diantara sebagai berikut :

- a) Yield Strength, Tensile Strength dan Break Strength

Tegangan pada titik yield didefinisikan sebagai tegangan pada kurva stress-strain dimana terjadi penambahan renggangan tanpa ada pertambahan tegangan. Titik yield dapat ditentukan mudah pada kurva, biasanya kemiringan kurva adalah nol ($d\sigma/d\varepsilon = 0$)^[10].

Setelah melewati titik yield, tegangan (stress) berlanjut pada deformasi plastis bertambah terus hingga mencapai titik maksimum dan kemudian renggangan (strain) menurun dan akhirnya putus.

Tensile pada saat putus atau disebut juga *Strength at break* adalah tegangan pada saat sampel uji putus. Artinya nilai yang diperoleh dari pembagian antara gaya pada saat putus dengan luas penampang beda minimum yang tegak lurus terhadap gaya tersebut untuk bahan-bahan yang rapuh tensile at break dan tensile strength mempunyai nilai yang sama.

Tensile yield strength, tensile strength, tensile breaking dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dengan σ adalah tensile yield strength, tensile strength, tensile breaking strength (N/mm²), F adalah gaya yang

diperlukan (N) dan A = luas permukaan bahan uji (mm²)

b) Yield Strain, Break Elongation dan Break Strain

Yield Strain yaitu titik awal mulai terjadi regangan pada kurva stress-strain dimana terjadi penambahan renggangan tanpa ada pertambahan tegangan.

Break Elongation adalah terjadinya penambahan panjang dari panjang awal sampai pada titik putus ketika sampel di uji tarik.

Break Strain merupakan persentase dari nilai yang diperoleh pada pembagian antara terjadinya penambahan panjang sampai sampai titik putus (*break elongation*) dengan panjang awal sampel (*initial gauge length*).

$$s = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\%$$

Dengan ϵ merupakan Break Strain, Yield Strain (%), Δl adalah panjang pada saat maksimum (mm) dan l_0 adalah panjang mula-mula (mm).

c) Modulus Young

Dari kurva stress-strain bahan polimer, ketika tegangan yang diberikan tidak terlalu besar maka kurva stress fungsi strain berupa garis lurus dimana stress berbanding lurus terhadap strain yang menyatakan deformasi elastisitas linier.

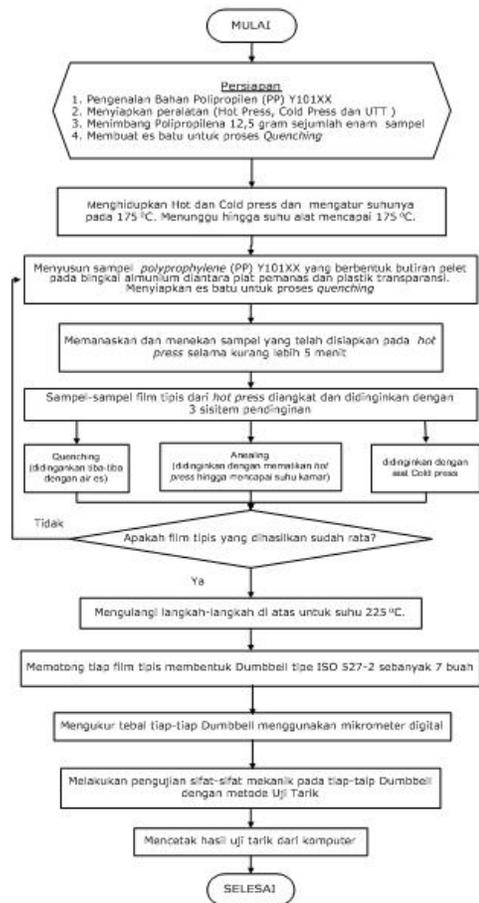
Modulus Young didefinisikan sebagai nilai gradient atau kemiringan dari garis lurus tersebut. Jadi dari kurva tersebut Modulus Young ditentukan dengan persamaan :

$$Y = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Dengan Y adalah modulus elastisitas (N/m²), σ_2 adalah tegangan pada titik 2 (akhir), σ_1 adalah tegangan pada titik 1 (awal), ϵ_2 adalah regangan pada titik 2 (akhir), ϵ_1 adalah regangan pada titik 1 (awal), $\Delta \sigma$ adalah perbedaan tegangan antara titik 2 dan titik 1, dan $\Delta \epsilon$ adalah perbedaan regangan antara titik 2 dan titik 1

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah untuk menentukan pengaruh hubungan proses pembuatan film tipis polipropilen (PP) dengan dua variasi suhu terhadap sifat-sifat mekaniknya, pengaruh hubungan proses pembuatan film tipis polipropilen (PP) dengan dengan tiga sisitem pendinginan yang berbeda terhadap sifat-sifat mekaniknya dan menentukan besarnya nilai tegangan (*stress*), regangan (*strain*) dan Modulus Elastis dari kurva stress-strain yang dihasilkan dari uji tarik film tipis polipropilen.

METODE PENELITIAN

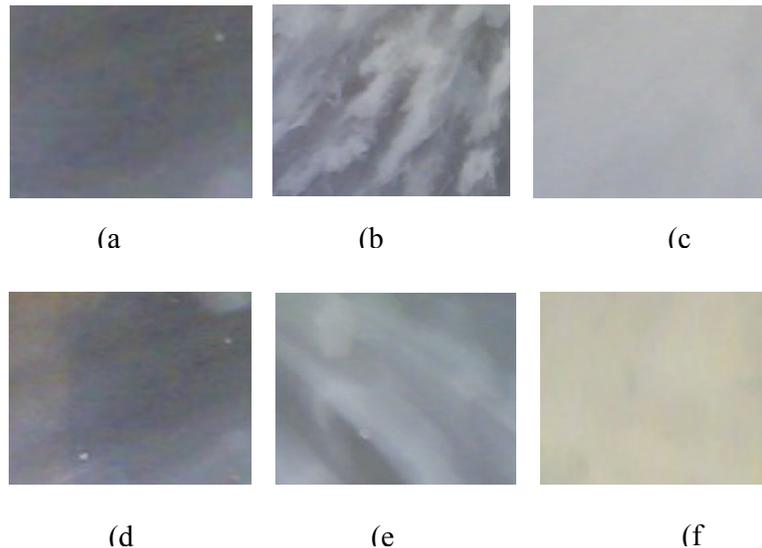


HASIL DAN PEMBAHASAN**1. Hasil Pembuatan Film Tipis PP (Polipropilen)**

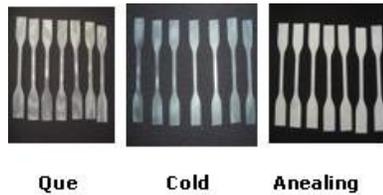
Pembuatan enam sampel film tipis polipropilen (PP) dilakukan dengan dua variasi suhu yaitu 175°C dan 225°C , dan masing-masing untuk satu variabel suhu didinginkan dengan tiga perlakuan yang berbeda. Film pertama didinginkan melalui proses *quenching*, yaitu pendinginan secara cepat menggunakan medium air es. Film kedua didinginkan dengan mengepres menggunakan alat *cold press*. Dan film ketiga didinginkan dengan cara *Annealing* yaitu mematikan *heater* pada *hot press* kemudian ditunggu hingga mencapai suhu kamar. Keenam film tipis PP yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 3 di bawah ini.

Hasil sampel yang diperoleh dari perbedaan perilaku pada sistem

pendinginan menunjukkan perbedaan pada warna permukaan tiap-tiap sampel yang berbeda. Sampel film tipis yang didinginkan dengan proses *quenching* memperlihatkan warna permukaan lebih bening dan transparan. Sedangkan sampel yang didinginkan dengan menggunakan mesin *Cold Press* menunjukkan warna permukaan sampel yang agak memutih dan kurang transparan. Untuk sampel yang didinginkan dengan mematikan heater hingga mencapai suhu kamar menunjukkan warna permukaan sampel yang memutih dan sudah tidak transparan lagi. Dari keenam sampel diatas kemudian dilakukan pemotongan. Dari tiap-tiap dua film tipis dibuat tujuh dumbbell sebelum dilakukan uji tarik, seperti ditunjukkan pada gambar 3



Gambar 3. Warna permukaan sampel film tipis polipropilen (PP) (a). $T=175^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan secara *quenching*. (b). $T=175^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan menggunakan *cold press*. (c). $T=175^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan dengan mematikan *heater* pada *hot press*. (d). $T=225^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan melalui proses *quenching* (e). $T=225^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan pada didinginkan dengan *cold press*. (f). $T=225^{\circ}\text{C}$, hasil pendinginan dengan mematikan *heater* pada *hot press*.



Gambar 4. Sampel film tipis dipotong dalam bentuk dumbbell ISO 527-2 5A

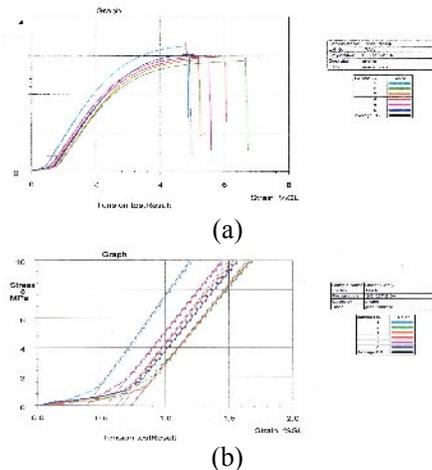
Saat polipropilena dipanaskan maka polipropilena menerima energi tambahan berupa energi termal. Energi termal ini digunakan oleh rantai-rantai penyusun polipropilena untuk bergerak ke segala arah saling mendekat secara teratur dan ada yang dilepaskan ke lingkungan. Gerakan rantai molekul akan terus berlanjut hingga gaya antar rantai mampu mengatasi rantai. Pada film polipropilena *quenching*, energi yang dilepaskan ke lingkungan lebih besar daripada energi yang digunakan oleh rantai untuk bergerak. Akibatnya, gaya antar rantai dapat mengatasi energi kinetik rantai dalam waktu singkat sehingga proses pembekuan lelehan polipropilena menjadi lebih cepat. Hal ini menyebabkan rantai tidak mempunyai kesempatan untuk bergerak lebih lama untuk membentuk daerah kristal yang lebih besar.

2. Data Pengukuran dan Hasil Uji Tarik

a) Sampel dengan Temperatur 175^o C

Sistem Pendinginan *Anealing*

Hasil uji tarik sampel film tipis untuk suhu 175^oC dengan sistem pendinginan *Anealing* (17AA) ditunjukkan oleh kurva stress-strain pada Gambar 4 (a). Hasil dari uji sampel 17AA, variabel-variabel pengukuran seperti *Yield Strength*, *Tensile Strength* dan *Break Strength* besar nilainya sama yaitu 25,065 MPa. Karena ketiga variabel tersebut berada di satu titik. Sedangkan nilai *Yield Strain* yang diperoleh yaitu 4,8591% dan nilai *Break Strain* yaitu 4,9143%.



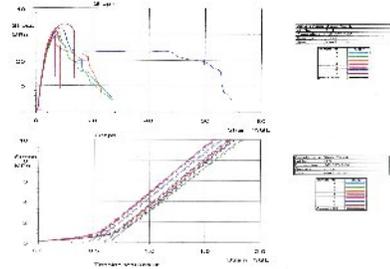
Gambar 5. Kurva Stress-strain untuk sampel $T = 175^{\circ}\text{C}$ dengan sistem pendinginan *Anealing*

Grafik pada kurva Stress-strain 17AA secara keseluruhan menunjukkan bahwa sampel hanya mengalami sedikit pemuluran di daerah plastik, ini mengakibatkan nilai titik patah dari perpanjangan garis (*Break Elongation*) sangat kecil, besarnya rata-ratanya 1.2361 mm. Artinya sampel tersebut hanya mengalami sedikit perpanjangan dari panjang awalnya. Kondisi ini yang menggambarkan bahwa sampel dengan sistem pendinginan secara *Anealing* bersifat kaku dan mudah patah.

Pada gambar 5 (b), grafik menggambarkan sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke dengan tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Untuk menentukan Modulus Elastisitas dari kurva stress-strain dilakukan dengan cara memplot garis lurus secara linier dimulai dari titik awal garis yang sejajar dengan garis grafik hasil uji tarik pada kurva stress-strain. Titik pertemuan pertama garis linier dengan garis grafik kurva stress-strain merupakan titik awal perbandingan tegangan terhadap regangan. Jika titik ini ditarik terhadap sumbu-x, maka nilai tegangan awalnya (σ_1) dapat diketahui dan jika ditraik terhadap sumbu-y maka nilai regangan

awalnya (ϵ_1) yang dapat diketahui. Ketika garis grafik kurva stress-strain tidak lagi sejajar dengan garis linier, maka titik perpotongan ini adalah batas range nilai yang digunakan untuk menentukan nilai σ_2 dan ϵ_2 . Perbandingan antara selisih kedua titik perpotongan ($\sigma_2 - \sigma_1$ dan $\epsilon_2 - \epsilon_1$) di daerah elastis dapat dijadikan acuan untuk menentukan nilai modulus elastisitas pada kurva stress-strain. Nilai modulus elastisitas pada sampel 17AA rata-rata sebesar 1119,8 MPa.

Sistem Pendinginan menggunakan Cold Press



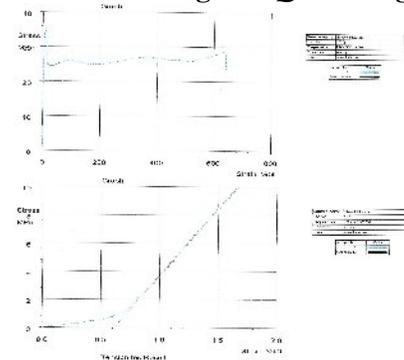
Gambar 6 (a). Kurva Stress-strain untuk sampel T = 175°C dengan sistem pendinginan menggunakan Cold Press (17C)
(b). Kurva Modulus Elastisitas 17C

Hasil Uji tarik sampel film tipis untuk suhu 175°C dengan sistem pendinginan menggunakan alat *Cold Press* ditunjukkan oleh Kurva Stress-strain pada Gambar 6 (a). Pada uji sampel 17C variabel-variabel pengukuran seperti *Yield Strength*, *Tensile Strength*, *Break Strength* hasil yang diperoleh besarnya tidak sama seperti halnya pada grafik sampel 17AA. Besarnya nilai *Yield Strength* rata-rata adalah 30.985 MPa, *Tensile Strength* 30.985 MPa dan *Break Strength* 23.270 MPa. Sedangkan nilai *Break Strain* mengalami selisih yang jauh dengan nilai *Yield Strain*, untuk sampel 17C nilai *Break Strain* rata-rata sebesar 19.103 % dan *Yield Strain* rata-rata 6.99 %. Grafik pada kurva Stress-strain untuk sampel 17C secara keseluruhan mulai

mengalami pemuluran yang panjang di daerah plastik, hal ini dapat dilihat pada nilai titik putus perpanjangan (*Break Elongation*) dengan nilai rata-rata 4.8067 mm. Artinya sampel tersebut mengalami perpanjangan yang cukup besar dari panjang awalnya. Kondisi ini pula yang menggambarkan bahwa sampel film tipis PP dengan sistem pendinginan menggunakan alat *Cold Press* bersifat kenyal dan elastis.

Pada gambar 6 (b), grafik menggambarkan bagian pertama dari kurva adalah sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke dengan tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Dengan metode yang sama dengan sampel 17AA, yaitu memplot garis lurus secara linier dimulai dari titik awal garis yang sejajar pada grafik pada kurva stress-strain hasil uji tiap-tiap sampel. Dengan menghitung perbandingan anatara selisih nilai dari titik perpotongan akhir ($\sigma_2 \cdot \epsilon_2$) dan titik pertemuan awal ($\sigma_1 \cdot \epsilon_1$), maka pada daerah elastik tersebut nilai modulus elastisitas dapat ditentukan. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh untuk sampel 17C rata-rata sebesar 892.56 MPa.

Sistem Pendinginan Quenching



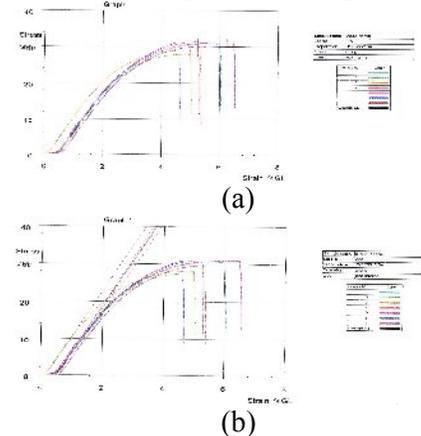
Gambar 7. (a). Kurva Stress-strain untuk sampel T = 175 °C dengan sistem pendinginan *Quenching* (17Q)
(b). Kurva Modulus Elastisitas 17Q

Hasil Uji Tarik sampel film tipis pada suhu 175°C dengan sistem pendinginan *Quenching* ditunjukkan oleh Kurva Stress-strain pada Gambar 7. (a). Pada uji sampel 17Q variabel-variabel *Yield Strength* dan *Tensile Strength* besar nilainya mengalami perbedaan dengan nilai *Break Strength*-nya. Karena ketiga variabel tersebut tidak berada dalam satu titik. Besarnya nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* untuk sampel 17Q adalah 35.393 MPa, sedangkan nilai *Break Strength*-nya sebesar 28.350 MPa. Pada grafik sampel 17Q nilai *Break Strain* mengalami peningkatan dibanding dengan sampel 17AA dan 17C yaitu mencapai 640.21 %, ini dapat diketahui dari garis grafik di daerah plastik sangat panjang. Sedangkan besarnya nilai *Yield Strain* yang didapat yaitu 9.6748 %. Fenomena yang sangat menonjol dari grafik kurva stress-strain 17Q adalah besarnya nilai *Break Elongation* yang mencapai 160.14 mm, hasil ini membuktikan sampel tersebut mengalami deformasi di daerah plastik yang sangat besar. Artinya bahwa sampel dengan sistem pendinginan dengan *Quenching* bersifat sangat kenyal dan elastis.

Pada gambar 7. (b), grafik menggambarkan bagian pertama dari kurva adalah sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke dengan tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Dengan metode yang sama seperti halnya pada sampel 17AA dan 17C, yaitu memplot garis lurus dari titik awal grafik secara linier dimulai dari titik garis yang sejajar dengan garis yang ditampilkan pada grafik hasil uji tarik sampel. Dengan menghitung perbandingan besarnya nilai titik perpotongan akhir ($\sigma_2 \cdot \epsilon_2$) dan titik pertemuan awal ($\sigma_1 \cdot \epsilon_1$) pada daerah elastis maka nilai modulus elastisitas dapat ditentukan. Nilai modulus elastisitas untuk sampel 17Q sebesar 954.61 MPa.

b) Sampel dengan Temperatur 225°C

Sistem Pendinginan *Anealing*



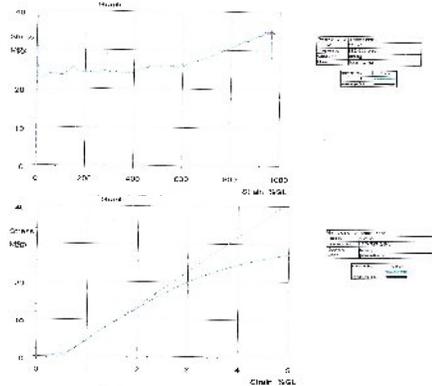
Gambar 8. (a). Kurva Stress-strain untuk sampel $T = 225^{\circ}\text{C}$ dengan sistem pendinginan *Anealing* (22AA)
(b). Kurva Modulus Elastisitas 22AA

Hasil Uji tarik sampel film tipis untuk suhu 225°C dengan sistem pendinginan *Anealing* (22AA) ditunjukkan oleh Kurva Stress-strain pada Gambar 8 (a). Pada hasil uji sampel 22AA besarnya nilai variabel-variabel pengukuran seperti *Yield Strength* rata-rata adalah 30.376 MPa, *Tensile Strength* 30.188 MPa dan *Break Strength* 30.126 MPa. Sedangkan nilai *Yield Strain* dan *Break Strain* hanya berkisar pada 4.880 %. Grafik pada kurva Stress-strain untuk sampel 22AA secara keseluruhan hanya mengalami sedikit peluluhan di daerah plastik, ini terlihat pada nilai titik patah perpanjangan garis (*Break Elongation*) sangat kecil yaitu rata-rata 1.2 mm. Artinya sampel tersebut hanya mengalami sedikit perpanjangan. Kondisi ini pula yang menggambarkan bahwa sampel dengan sistem pendinginan secara *Anealing* bersifat kaku dan mudah patah.

Pada gambar 8 (b), grafik menggambarkan bagian pertama dari kurva adalah sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke

dengan tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Dengan metode yang sama, yaitu memplot garis lurus secara linier dimulai dari titik awal garis yang sejajar pada grafik pada kurva stress-strain hasil uji tiap-tiap sampel. Dengan menghitung perbandingan antara selisih nilai dari titik perpotongan kedua ($\sigma_2 \cdot \epsilon_2$) dan titik pertemuan pertama ($\sigma_1 \cdot \epsilon_1$), maka pada daerah elastik tersebut nilai modulus elastisitas dapat ditentukan. Nilai modulus elastisitas yang di peroleh untuk sampel 22AA rata-rata sebesar 1235 MPa.

Sistem Pendinginan menggunakan Cold Press



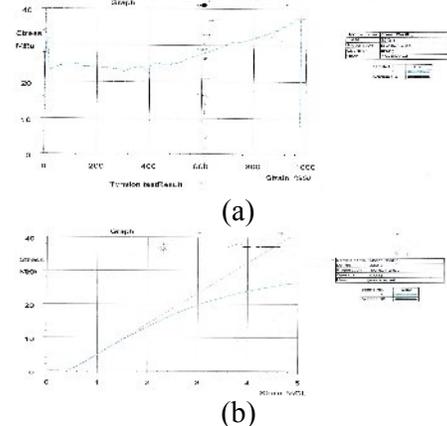
Gambar 9. (a). Kurva Stress-strain untuk sampel T = 225 °C dengan sistem pendinginan menggunakan cold Press (C) (b). Kurva Modulus Elastisitas 22C

Hasil Uji tarik sampel film tipis untuk suhu 225°C dengan sistem pendinginan menggunakan alat *Cold Press* ditunjukkan oleh kurva stress-strain pada Gambar 9 (a). Untuk sampel 22C besarnya nilai *Yield Strength*, *Tensile Strength* dan *Break Strength* adalah 32.18 MPa, 34.762 MPa dan 34.441 MPa. Sedangkan nilai *Break Strain* mengalami selisih yang jauh dengan nilai *Yield Strain*, untuk sampel 22C nilai *Break Strain* mengalami peningkatan yang sangat signifikan yaitu sebesar 966.67 %, sedangkan *Yield Strain* sebesar 7.9558 %. Grafik pada

kurva Stress-strain untuk sampel 22C secara keseluruhan sudah mengalami peluluhan di daerah plastik, ini terlihat pada nilai titik putus perpanjangan (*Break Elongation*) yang mencapai 241.80 mm. Artinya sampel tersebut mengalami perpanjangan yang cukup besar dari panjang awalnya. Kondisi ini pula yang menggambarkan bahwa sampel dengan sisitem pendinginan menggunakan alat Cold Press bersifat mulur dan elastis.

Pada gambar 9. (b), grafik menggambarkan bagian pertama dari kurva adalah sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke dengan tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Menggunakan metode yang sama dengan sampel 22AA, yaitu memplot garis lurus dari titik awal grafik secara linier sehingga garis tersebut sejajar dengan garis pada grafik kurva stress-strain hasil uji tarik sampel. Dengan menghitung perbandingan antara selisih nilai dari titik perpotongan kedua($\sigma_2 \cdot \epsilon_2$) dan titik pertemuan pertama ($\sigma_1 \cdot \epsilon_1$), maka pada daerah elastik tersebut nilai modulus elastisitas dapat ditentukan. Nilai modulus elastisitas pada smpel 22C rata-rata sebesar 944.96 MPa.

Sistem Pendinginan Quenching



Gambar 10. (a). Kurva Stress-strain untuk sampel T = 225 °C dengan sistem pendinginan Quenching (22Q) (b). Kurva Modulus Elastisitas 22Q

Tabel 1. Data keseluruhan nilai rata-rata dari variabel-variabel pengukuran

| Suhu | Sistem Pendinginan | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Yield Strength (Mpa) | Yield Strain (%) | Tensile strength (Mpa) | Break Strength (Mpa) | Break Elong (mm) | Break Strain (%) | Elastic Modulus (Mpa) |
|--------|--------------------|------------|------------|----------------------|------------------|------------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| 175 °C | Annealing | 3.97 | 0.6 | 25.065 | 4.86 | 25.065 | 25.065 | 1.236 | 4.914 | 1119.8 |
| | Cold Press | 3.97 | 0.7 | 30.985 | 6.99 | 30.985 | 23.270 | 4.807 | 19.10 | 892.56 |
| | Quenching | 3.97 | 0.7 | 31.400 | 7.90 | 32.900 | 25.300 | 60.80 | 242.9 | 817,44 |
| 225 °C | Annealing | 3.97 | 0.5 | 30.259 | 4.91 | 30.232 | 30.278 | 1.234 | 4.975 | 1235,6 |
| | Cold Press | 3.97 | 0.7 | 31.218 | 7.63 | 32.367 | 31.298 | 167.0 | 747.5 | 991,34 |
| | Quenching | 3.97 | 0.7 | 32.259 | 8.27 | 33.698 | 32.645 | 189.1 | 784.3 | 943,21 |

Hasil uji tarik sampel film tipis untuk suhu 225^oC dengan sistem pendinginan *Quenching* ditunjukkan oleh kurva stress-strain pada Gambar 10 (a). Pada hasil uji sampel 22Q variabel-variabel pengukuran seperti *Yield Strength*, *Tensile Strength* dan *Break Strength*, ketiga-tiganya mengalami perbedaan nilai yang diperoleh. Besarnya nilai *Yield Strength* dan *Tensile Strength* untuk sampel 22Q adalah 32.182 MPa dan 34.762 MPa, sedangkan nilai *Break Strength*-nya sebesar 34.441 MPa. Pada grafik sampel 22Q nilai *Break Strain* hanya mencapai 241.80 % lebih kecil daripada sampel 22C. Akan tetapi kondisi sudah menunjukkan sangat panjangnya garis di daerah plastik. Dan untuk *Yield Strain* berkisar pada 7.9558 %. Titik putus garis pada bahan yang mengalami perpanjangan (*Break Elongation*) yang pada kurva stress-strain 22Q hanya mencapai 160.14 mm. Kondisi ini membuktikan sampel tersebut mengalami deformasi di daerah plastik yang sangat besar. Artinya bahwa sampel dengan sistem pendinginan dengan *Quenching* bersifat sangat mulur dan elastis.

Pada gambar 10. (b), menggambarkan bagian pertama dari kurva adalah sebuah garis lurus yang menunjukkan perilaku hukum Hooke dengan tegangan berbanding lurus

terhadap regangan. Dengan metode yang sama dengan sampel 22AA, yaitu memplot garis lurus dari titik awal grafik secara linier sehingga garis tersebut sejajar dengan garis pada grafik kurva stress-strain hasil uji tarik sampel. Yaitu menghitung perbandingan antara selisih nilai dari titik perpotongan kedua (σ_2, ϵ_2) dan titik pertemuan pertama (σ_1, ϵ_1), maka pada daerah elastik tersebut nilai modulus elastisitas dapat ditentukan. Nilai modulus elastisitas pada sampel 22Q sebesar 966.67 MPa.

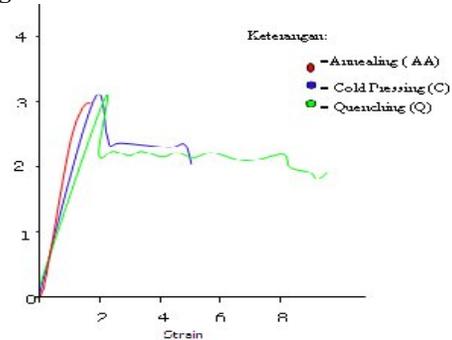
Perlakuan sistem pendinginan yang berbeda mengakibatkan nilai modulus elastisitas yang berbeda, hal ini disebabkan medium yang digunakan untuk mendinginkan bahan polipropilen sangat mempengaruhi kekutan sampel film tipis. Jika ditinjau dari rantai-rantai molekul penyusun polimer perbedaan saat sistem pendinginan ini membentuk dua keadaan struktur morfologi bahannya. Yaitu semikristal dan amorf. Sistem pendinginan *Quenching* dan *cold press* struktur molekul-molekul penyusunnya membentuk keadaan amorf, karena gaya antar rantai dapat mengatasi energi kinetik rantai dalam waktu singkat sehingga proses pembekuan lelehan polipropilen menjadi lebih cepat. Hal ini menyebabkan rantai tidak mempunyai kesempatan bergerak lebih lama untuk membentuk daerah kristal yang lebih besar. Akibatnya

rantai molekul penyusunnya berada dalam keadaan tidak teratur yaitu tiadanya urutan yang sempurna diantara molekul-molekulnya. Sifat mekanik bahan yang tergolong amorf umumnya lebih lentur dan kenyal.

Untuk sistem pendinginan *annealing* dengan mematikan heater sampai mencapai suhu kamar terjadi proses transfer energi yang diterima lebih banyak digunakan oleh rantai-rantai untuk bergerak daripada yang dilepaskan ke lingkungan. Akibatnya, proses pembekuan lelehan polipropilena lebih lambat sehingga rantai memiliki peluang lebih besar untuk bergerak saling mendekat secara teratur untuk membentuk daerah kristal yang lebih luas. Struktur molekul-molekul penyusunnya terkemas secara teratur dan polanya berulang-ulang, melebar secara tiga dimensi. Bahan yang tergolong kategori kristal umumnya lebih keras, lebih kuat dan kaku.

Hasil pengujian memperlihatkan besarnya nilai *Modulus Elastis* selalu berbanding terbalik dengan besarnya perpanjangan bahan (*Break Elongation*) pada saat sampel di uji tarik. Artinya jika bahan termoplastik yang mempunyai nilai modulus elastisitasnya kecil maka bahan tersebut akan mengalami pertambahan panjang yang cukup besar saat di tarik sampai mulur melewati daerah elastik dan tidak akan kembali ke panjang semula. Ini membuktikan bahwa bahan bersifat lentur dan kenyal. Sedangkan nilai variabel *Yield Strength*, *Tensile Strength* dan *Break Strength* diperoleh hasil yang beragam, karena ketiga variabel ini hanya menunjukkan karakteristik dan elastisitas bahan. Pembuatan film secara *annealing* mempunyai modulus elastisitas yang besar dibanding dengan pendinginan dengan *Cold press* dan *Quenching*. Tetapi sampel dengan sistem pendinginan *Quenching* dan *Cold Press* memiliki tingkat kelenturan/elastisitas bahan yang tinggi,

hal ini tergambar pada saat dumbbell memulur sangat panjang ketika proses uji tarik. Proses pemuluran sampel pada saat pengujian ini disebut *necking*. Perbedaan elastisitas bahan dengan tiga sistem pendinginan yang berbeda-beda diperlihatkan pada kurva stress-strain **gambar 9**. dibawah ini.



Gambar 9. Kurva Stress-strain untuk sampel dengan tiga sistem pendinginan yang berbeda.

Kurva stress-strain untuk sistem pendinginan *Quenching* dan menggunakan *Cold Press* menunjukkan nilai pertambahan panjang (*Break Elongation*) dan regangan (*Break Strain*) yang sangat besar jika dibandingkan dengan sistem pendinginan dengan *Annealing*. Kondisi ini berbanding terbalik dengan nilai modulus elastisitasnya. karena semakin besar nilai *Break Elongation* suatu sampel maka semakin kecil nilai *Modulus Elastisitasnya*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa hasil pembuatan film tipis polipropilena (PP) dengan dengan suhu yang berbeda waktu pemanasan sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanik film tipis PP. Modulus elastisitas film tipis PP semakin besar dengan bertambahnya suhu peleburan. Film tipis PP dengan suhu peleburan yang tinggi, modulus elastisitas lebih besar dibandingkan dengan film tipis PP dengan suhu peleburan yang rendah.

Selain faktor suhu, perilaku sistem pendinginan juga sangat mempengaruhi sifat-sifat mekanik bahan. Sampel yang didinginkan dengan *cold press* dan *quenching* memiliki sifat elastisitas/kelenturan yang tinggi tetapi nilai modulus elastisitas kecil dibandingkan sampel *annealing*. Karena modulus elastis berbanding terbalik dengan tingkat kemuluran/keregangan bahan.

Hasil uji tarik yang didapatkan berupa kurva stress-strain dengan variabel yang dihasilkan *yield strength*, *tensile strength*, *break strength*, *yield strain*, *break strain*, *break elongation* dan *elastic modulus*. Nilai modulus elastisitas untuk sampel 17AA, 17C, 17Q, berturut-turut adalah 1119,8 MPa; 892,56 MPa; 817,44 MPa. Dan nilai modulus elastisitas untuk sampel 22C, 22Q, 22AA berturut-turut adalah 1235,6 MPa; 991,34 MPa; 943,21 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bishop, R. J. dan Smallman, R. E. 2000. *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- [2]. Billmeyer, Fred W. 1984. *Textbook of Polymer Science*. Singapore: John Willey and Sons, Inc.
- [3]. Callister, William D. 2003. *Materials Science and Engineering an Introduction*. Singapore: John Willey and Sons.
- [4]. Cowd, M. A. 1991. *Kimia Polimer*. Bandung: Penerbit ITB.
- [5]. Ediatai, Ratna dkk. 2001. *Kimia Kejuruan jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- [6]. Sears, Zemanskay. 1994. *Fisika untuk Universitas I*. Jakarta : Binacipta
- [7]. Malcolm, P. Stevens. 2001. *Kimia Polimer (diterjemahkan Iis Sofyan) cetakan pertama*. Jakarta: Pradnya Paramita.