

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Busa Poliuretan

Proses pembuatan busa poliuretan dengan menggunakan *castor oil* sebagai polioliol. Pada proses pembuatan busa poliuretan dilakukan dengan mereaksikan polioliol dengan aquades, surfaktan silikon, dan MDI (*Methylene Diphenyl Diisocyanate*). Aquades berperan sebagai *blowing agent* yang berfungsi untuk mengembangkan busa [17], surfaktan silikon berperan sebagai surfaktan yang berfungsi untuk mengurangi tegangan permukaan serta untuk melarutkan aquades dengan MDI [28], dan *Methylene Diphenyl Diisocyanate* berperan sebagai isosianat yang berfungsi sebagai agen penghubung yang mengikat polioliol dan membentuk struktur jaringan polimer [17]. Pada proses pembuatan busa poliuretan terdapat beberapa fenomena diantaranya terbentuknya asap dan panas saat proses expansion, hal ini disebabkan oleh reaksi eksoterm dari aquades dengan MDI yang menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) dan amida sebagai produk sampingan. Pada reaksi tersebut melepaskan energi yang tersimpan, energi ini dilepaskan dalam bentuk panas berupa gas CO₂.

Proses pembuatan busa poliuretan menggunakan bahan-bahan seperti *castor oil*, surfaktan silikon, aquades, dan MDI (*Methylene Diphenyl Diisocyanate*) melibatkan beberapa langkah. Berikut adalah penjelasan tentang setiap langkah dalam proses tersebut. Bahan-bahan yang akan digunakan, yaitu *castor oil*, surfaktan silikon, aquades, dan MDI, disiapkan dan diukur sesuai

dengan perbandingan yang ditentukan. *Castor oil* adalah bahan dasar yang akan memberikan elastisitas pada busa poliuretan, surfaktan silikon digunakan untuk mengatur struktur busa, aquades berfungsi sebagai pelarut dan mengaktifkan reaksi kimia, sedangkan MDI berperan sebagai agen pengeras. Pembuatan prekursor poliuretan, pada langkah ini, *castor oil* dicampur dengan MDI dalam jumlah yang sesuai dan diaduk hingga terbentuk prekursor poliuretan. Reaksi kimia terjadi antara gugus hidroksil pada *castor oil* dan gugus isosianat pada MDI, membentuk ikatan uretan. Surfaktan silikon ditambahkan ke dalam campuran prekursor poliuretan. Surfaktan ini berfungsi untuk mengontrol pembentukan gelembung udara dan mengatur struktur busa yang dihasilkan. Aquades ditambahkan ke dalam campuran sebagai pelarut dan untuk mengaktifkan reaksi kimia yang menghasilkan busa. Aquades juga membantu mengatur waktu reaksi dan viskositas campuran. Setelah penambahan aquades, reaksi kimia antara prekursor poliuretan dan air dalam aquades terjadi. Ini menghasilkan pembentukan gas karbon dioksida yang mengembang dan membentuk busa. Waktu pengembangan busa tergantung pada komposisi dan sifat bahan yang digunakan. Setelah busa terbentuk, busa poliuretan perlu menjalani proses curing atau pengerasan. Proses ini memungkinkan busa untuk mengeras dan memperoleh kekuatan yang diperlukan untuk aplikasi tertentu [8].

Pada proses pembuatan busa poliuretan dengan bahan-bahan seperti *castor oil*, surfaktan silikon, aquades, dan MDI (*Methylene Diphenyl Diisocyanate*), terjadi beberapa reaksi kimia yang penting. Reaksi antara *castor oil* dan MDI *Castor oil*, yang mengandung gugus hidroksil (-OH), bereaksi dengan MDI yang

mengandung gugus isosianat (-NCO). Dalam reaksi ini, gugus hidroksil pada castor oil bereaksi dengan gugus isosianat pada MDI membentuk ikatan uretan. Reaksi ini dikenal sebagai reaksi uretanisasi. Hasilnya adalah terbentuknya prekursor poliuretan yang merupakan campuran dari molekul poliol (*castor oil*) yang terhubung oleh ikatan uretan. Reaksi antara prekursor poliuretan dan air: Pada tahap ini, aquades (air) ditambahkan ke dalam campuran prekursor poliuretan. Air bereaksi dengan gugus isosianat yang tersisa pada MDI membentuk ikatan urea. Reaksi ini dikenal sebagai reaksi urea-formaldehida. Reaksi ini menghasilkan pembentukan gas karbon dioksida (CO₂) sebagai produk sampingan, yang berperan penting dalam pembentukan busa. Pembentukan gas CO₂ menyebabkan pengembangan. Selama proses pembentukan busa, surfaktan silikon ditambahkan ke dalam campuran untuk mengatur struktur busa. Surfaktan silikon berinteraksi dengan fase gas dan cair dalam campuran, membantu mengontrol pembentukan dan distribusi gelembung udara dalam busa. Interaksi ini membantu menghasilkan busa poliuretan dengan struktur yang lebih homogen dan kontrol yang lebih baik terhadap ukuran dan distribusi sel-sel busa. Reaksi-reaksi ini terjadi secara simultan dan kompleks dalam proses pembuatan busa poliuretan. Interaksi antara *castor oil*, MDI, air, dan surfaktan silikon mempengaruhi pembentukan busa, kekuatan mekanik, dan struktur mikro busa yang dihasilkan [41].

Pada penelitian pembuatan busa poliuretan ini dilakukan dengan komposisi surfaktan dan aquades berbeda-beda yang berguna untuk mencari sifat

dari busa poliuretan. Berikut merupakan tabel dari komposisi bahan yang digunakan pada penelitian.

Tabel 4.1 Komposisi Bahan yang Digunakan

Sampel	Biopoliol:MDI (wt)	Tambahan MDI (pphp)	Surfaktan (pphp)	Aquades (pphp)
1	1:1	10%	2%	1%
2	1:1	10%	10%	1%
3	1:1	10%	18%	1%
4	1:1	10%	2%	10%
5	1:1	10%	10%	10%
6	1:1	10%	18%	10%
7	1:1	10%	2%	20%
8	1:1	10%	10%	20%
9	1:1	10%	18%	20%

4.2 Pengaruh Komposisi Aquades Terhadap Busa Poliuretan

Dalam pembuatan busa poliuretan, penambahan aquades (air destilasi) digunakan sebagai *blowing agent* atau pendorong pembentukan busa. *Blowing agent* berperan penting dalam membentuk gelembung udara dalam sistem poliuretan yang akhirnya menghasilkan busa dengan struktur terkontrol dan sifat fisik yang diinginkan. Ketika aquades ditambahkan ke dalam campuran bahan poliuretan, air tersebut menguap akibat panas yang dihasilkan dalam reaksi kimia antara *castor oil* dan *isocyanate* (dalam hal ini, MDI). Proses penguapan air

menghasilkan gelembung udara dalam campuran, yang menyebabkan pembentukan struktur pori-pori dalam busa poliuretan. Komposisi aquades yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan akan mempengaruhi jenis busa yang terbentuk serta sifat mekanik dan fisik busa yang dihasilkan. Umumnya, semakin besar komposisi aquades yang digunakan, densitas busa akan semakin rendah. Ini karena penguapan air menghasilkan volume udara yang lebih besar dalam busa, sehingga mengurangi kepadatan relatifnya. Selain itu, dengan adanya lebih banyak udara dalam busa, kekuatan tekan busa cenderung menurun. Namun, perlu diingat bahwa sifat fisik dan mekanik busa yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh komposisi surfaktan yang digunakan. *Surfactant* bertanggung jawab untuk mengontrol pembentukan gelembung udara, penyebaran dan stabilisasi gelembung tersebut, serta meningkatkan kualitas busa secara keseluruhan.

Untuk mengetahui pengaruh komposisi aquades terhadap busa poliuretan yang dihasilkan, dapat dirujuk pada tabel 4.2 yang disebutkan dalam penelitian yang dilakukan oleh [42]. Tabel tersebut mungkin memberikan informasi tentang berbagai parameter seperti densitas busa, kekuatan tekan, dan jenis busa dalam kaitannya dengan variasi komposisi aquades yang digunakan. Dalam kesimpulannya, penambahan aquades sebagai *blowing agent* dalam pembuatan busa poliuretan memainkan peran penting dalam menghasilkan struktur dan sifat fisik busa yang diinginkan. Penggunaan aquades dengan komposisi yang berbeda dapat menghasilkan perubahan pada densitas, kekuatan tekan, dan jenis busa yang terbentuk.

Tabel 4.2 Hasil Busa Poliuretan dengan Variasi Komposisi Aquades

Komposisi Aquades (pphp)	Komposisi Surfaktan (pphp)	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Young (MPa)	Densitas (gram/cm³)	Jenis Busa
1%	2%	0,81	2,6012	0,139370	<i>Rigid</i>
1%	10%	0,21	0,5227	0,055929	<i>Semi Rigid</i>
1%	18%	0,12	0,3733	0,090007	<i>Flexible</i>
10%	2%	0,53	1,5391	0,116657	<i>Rigid</i>
10%	10%	0,23	0,6451	0,060683	<i>Rigid</i>
10%	18%	0,13	0,3295	0,053263	<i>Flexible</i>
20%	2%	0,59	0,3733	0,112617	<i>Rigid</i>
20%	10%	0,16	0,3789	0,051448	<i>Semi Rigid</i>
20%	18%	0,16	0,3529	0,050458	<i>Flexible</i>

Pada Tabel 4.2 terlihat variasi nilai densitas yang berbeda-beda sesuai dengan komposisi aquades sebesar 1%, 10%, dan 20%, serta komposisi bahan surfaktan sebesar 2%, 10%, dan 18%. Berdasarkan informasi dalam literatur, konsep yang berlaku adalah semakin besar nilai densitas suatu benda, maka benda tersebut cenderung lebih kaku. Dengan demikian, semakin besar nilai densitas suatu benda, semakin kaku pula benda tersebut. Dari data hasil pengujian densitas yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa jenis foam yang terbentuk adalah *rigid* (kaku), *semi rigid* (setengah kaku), dan fleksibel sejalan dengan temuan dari

penelitian [43]. ntuk menganalisis data ini, dilakukan perhitungan standar deviasi dengan menggunakan persamaan 4.1.

$$s = \sqrt{(\sum x^2 - nX^2)/(n - 1)} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

s = Standar Deviasi

x = Nilai satu pengamatan

n = Banyaknya pengamatan

X = Rata – rata aritmatika dari total pengamatan

Didapatkan hasil perhitungan standar deviasi pada pengujian densitas pada sampel busa poliuretan pada seluruh variasi sampel. Tabel 4.3 Data hasil standar deviasi pengujian densitas.

Tabel 4.3 Data Hasil Standar Deviasi Pengujian Densitas

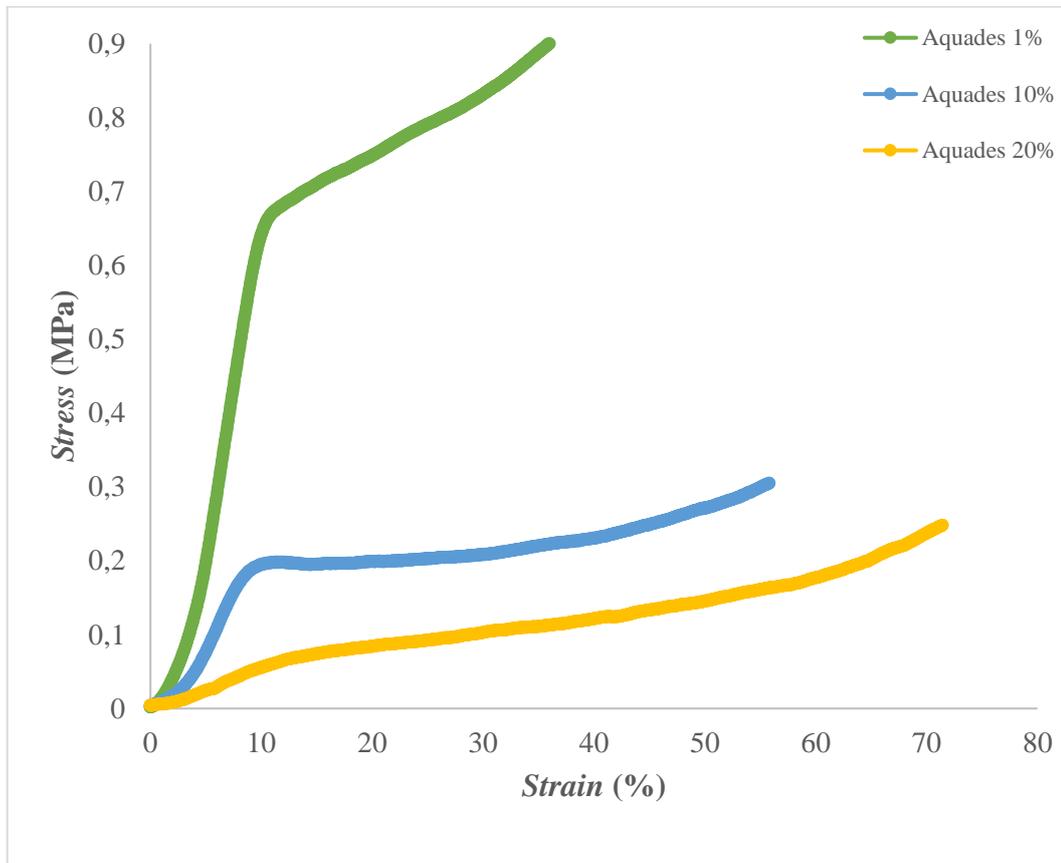
Komposisi Aquades (pphp)	Komposisi Surfaktan (pphp)	Standar Deviasi
	2%	0,070584
1%	10%	0,075558
	18%	0,076321
	2%	0,083780
10%	10%	0,083366
	18%	0,084139
	2%	0,079984
18%	10%	0,083997

4.2.1 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian kekuatan busa poliuretan, salah satu analisis yang dilakukan adalah dengan membangun grafik tegangan dan regangan (*stress-strain*) untuk setiap komposisi yang diuji. Hal ini bertujuan untuk memperoleh informasi tentang respons mekanik busa terhadap beban yang diterapkan, serta untuk menentukan nilai modulus *Young* dari masing-masing komposisi. Berdasarkan tabel 4.2, dapat membuat grafik tegangan dan regangan untuk komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% dengan variasi komposisi aquades 1%, 10%, dan 20%. Grafik ini akan menunjukkan hubungan antara tegangan (*stress*) yang diterapkan pada busa poliuretan dengan regangan (*strain*) yang terjadi sebagai respons terhadap tegangan tersebut. Gambar 4.1 akan memperlihatkan grafik tegangan dan regangan dari masing-masing komposisi tersebut. Pada sumbu x akan direpresentasikan regangan yang diukur dalam persentase, sedangkan pada sumbu y akan direpresentasikan tegangan yang diukur dalam *megapascal* (MPa). Grafik ini akan menunjukkan bagaimana busa poliuretan merespons tegangan yang diterapkan, apakah bersifat elastis (kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan) atau plastis (mengalami deformasi permanen).

Dalam grafik tegangan-regangan, fase *linear* pada awal kurva akan digunakan untuk menghitung modulus *Young* (*Young's modulus*). Modulus

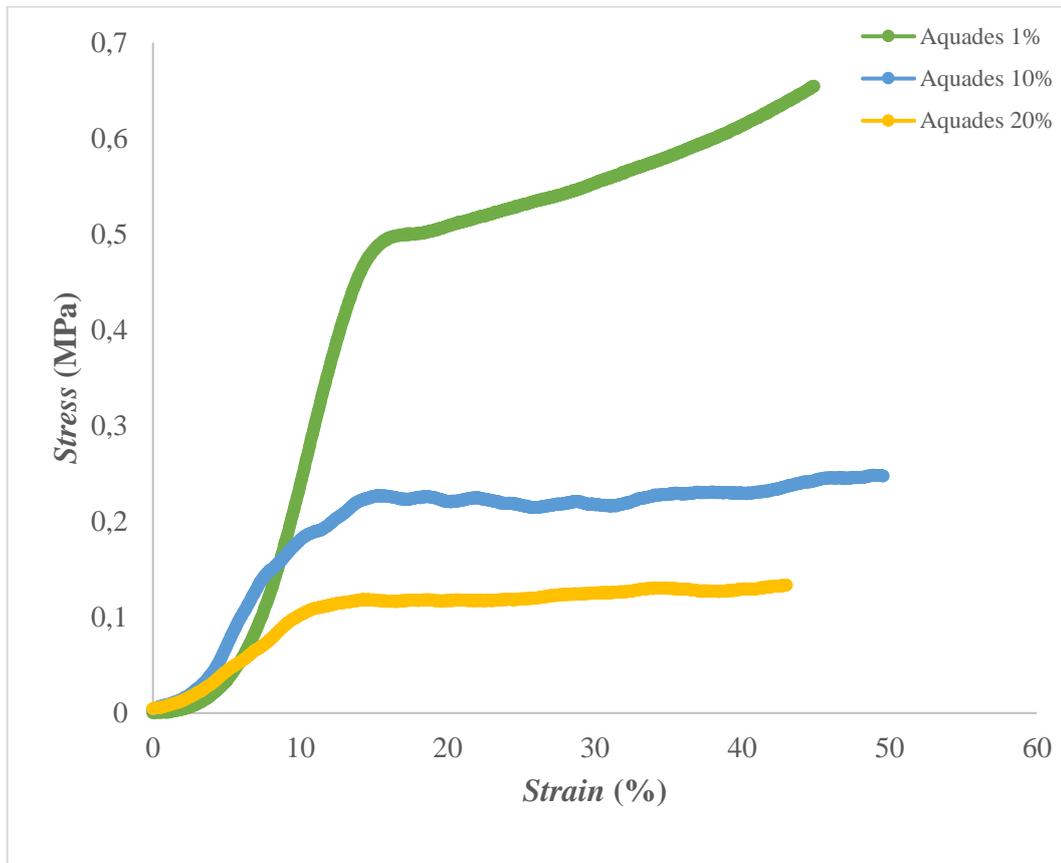
Young adalah ukuran kekakuan atau rigiditas suatu material dan dinyatakan dalam satuan tekanan. Nilai modulus *Young* dapat dihitung sebagai *gradien* atau kemiringan dari kurva *linear* pada fase elastis dari grafik tegangan-regangan. Semakin tinggi nilai modulus *Young*, semakin kaku atau kaku material tersebut. Dengan membandingkan grafik tegangan-regangan dari berbagai komposisi aquades yang diuji, kita dapat melihat perbedaan dalam respons mekanik busa poliuretan terhadap variasi komposisi aquades. Dengan demikian, melalui analisis grafik tegangan-regangan dan perhitungan modulus *Young*, dapat memperoleh informasi penting tentang respons mekanik busa poliuretan terhadap beban dan perubahan sifat mekaniknya dengan variasi komposisi aquades.



Gambar 4.1 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Aquades 1%, 10%, dan 20% dengan Komposisi Surfaktan 2%

Pada tabel 4.1, terlihat bahwa komposisi surfaktan 2% dengan variasi komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% memberikan nilai kuat tekan dan modulus *Young* yang berbeda-beda. Dalam literatur, diketahui bahwa semakin besar nilai modulus *Young* suatu benda, maka benda tersebut akan semakin kaku. Oleh karena itu, nilai kuat tekan suatu benda juga cenderung meningkat seiring dengan peningkatan nilai modulus *Young*. Gambar 4.1 menunjukkan grafik tegangan-regangan dan nilai modulus *Young* dari masing-masing sampel. Nilai modulus *Young*

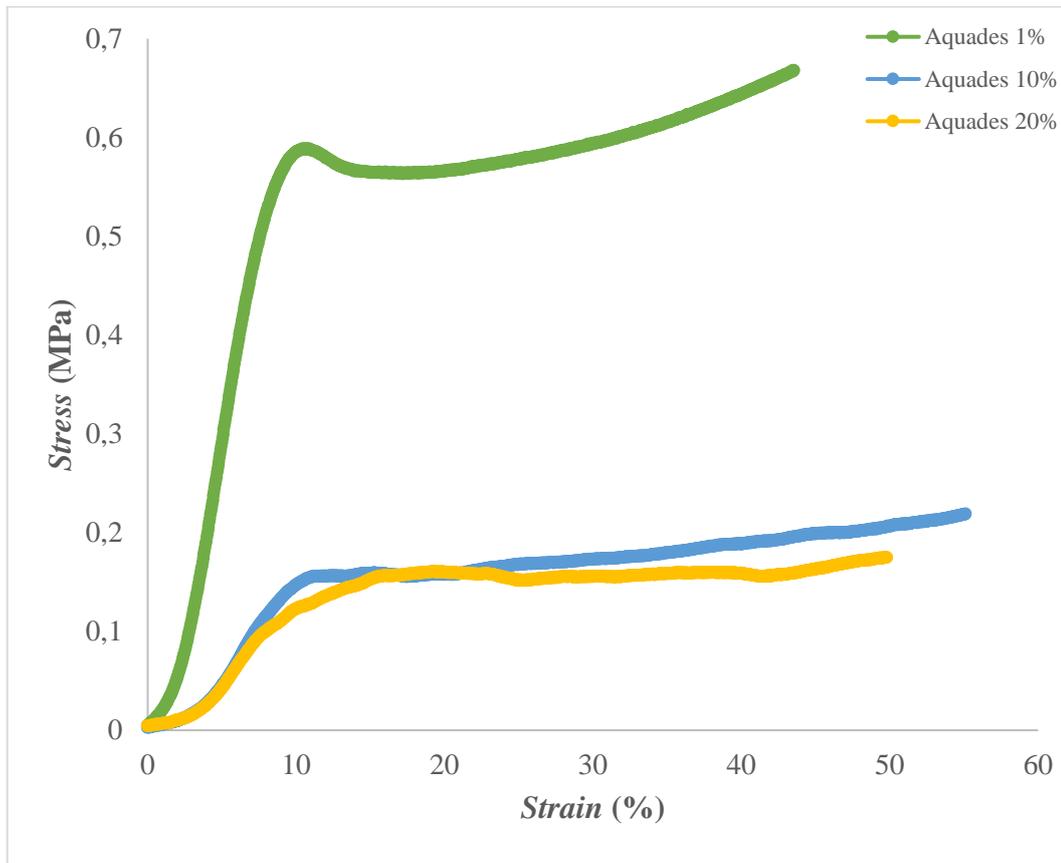
diperoleh dari kemiringan garis regresi *linear* (*slope*) pada grafik tegangan-regangan. Sementara itu, nilai kuat tekan untuk komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut adalah 0,81 MPa, 0,21 MPa, dan 0,12 MPa. Berdasarkan grafik nilai modulus *Young* pada komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut adalah 2,6012 MPa, 0,5227 MPa, dan 0,3733 MPa. Apabila data nilai modulus *Young* dan nilai kuat tekan dibandingkan, dapat dilihat bahwa hasilnya sesuai dengan apa yang telah disebutkan dalam literatur [42]. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai modulus *Young* dari busa, maka busa tersebut akan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Dalam konteks ini, komposisi dengan konsentrasi aquades yang lebih tinggi, seperti 20%, memiliki nilai modulus *Young* yang lebih rendah, sehingga busa tersebut lebih fleksibel dan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aquades dalam formulasi busa poliuretan dapat mengubah sifat mekanik busa, seperti kekakuan dan kekuatan. Dalam penelitian ini, semakin tinggi konsentrasi aquades yang digunakan, semakin rendah nilai modulus *young* dan nilai kuat tekan busa poliuretan.



Gambar 4.2 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Aquades 1%, 10%, dan 20% dengan Komposisi Surfaktan 10%

Data yang diberikan mengenai hasil pengujian kuat tekan menggunakan komposisi surfaktan 10% dengan variasi komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% menunjukkan nilai kuat tekan dan modulus *Young* yang berbeda-beda. Nilai kuat tekan dapat ditemukan pada tabel 4.2, di mana untuk komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut memiliki nilai kuat tekan sebesar 0,53 MPa, 0,23 MPa, dan 0,13 MPa. Berdasarkan grafik nilai modulus *Young* pada komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut adalah 1,5391 MPa, 0,6451 MPa, dan

0,3295 MPa. Apabila data ini tentang modulus *Young* dan nilai kuat tekan dibandingkan, dapat dilihat bahwa hasilnya sesuai dengan apa yang telah disebutkan dalam literatur [42]. Hal ini sesuai dengan konsep bahwa semakin kecil nilai modulus *Young* dari suatu bahan, maka bahan tersebut akan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Dalam konteks ini, komposisi dengan konsentrasi aquades yang lebih tinggi, seperti 20%, memiliki nilai modulus *Young* yang lebih kecil, sehingga busa tersebut lebih fleksibel dan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Penjelasan ini sesuai dengan konsep umum bahwa modulus *Young* adalah ukuran kekakuan atau kekakuan bahan, sedangkan kuat tekan menggambarkan kemampuan bahan untuk menahan tekanan atau beban tertentu sebelum mengalami kegagalan. Oleh karena itu, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penambahan aquades dalam formulasi busa poliuretan dengan komposisi surfaktan 10% dapat mempengaruhi sifat mekanik busa, termasuk kekakuan dan kekuatan. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan formulasi busa poliuretan dengan tujuan untuk mencapai sifat fisik dan mekanik yang diinginkan dalam aplikasi tertentu. Dalam hal ini, pemilihan komposisi aquades yang tepat dapat mempengaruhi kekakuan dan kekuatan busa poliuretan, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi yang diinginkan.



Gambar 4.3 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Aquades 1%, 10%, dan 20% dengan Komposisi Surfaktan 18%

Pada tabel 4.2, terlihat bahwa komposisi surfaktan 18% dengan variasi komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% memberikan nilai kuat tekan dan modulus *Young* yang berbeda-beda. Dalam literatur, diketahui bahwa semakin besar nilai modulus *Young* suatu benda, maka benda tersebut akan semakin kaku. Oleh karena itu, nilai kuat tekan suatu benda juga cenderung meningkat seiring dengan peningkatan nilai modulus *Young*. Gambar 4.3 menunjukkan grafik tegangan-regangan dan nilai modulus *Young* dari masing-masing sampel. Nilai modulus *Young* diperoleh dari kemiringan garis regresi *linear (slope)* pada grafik

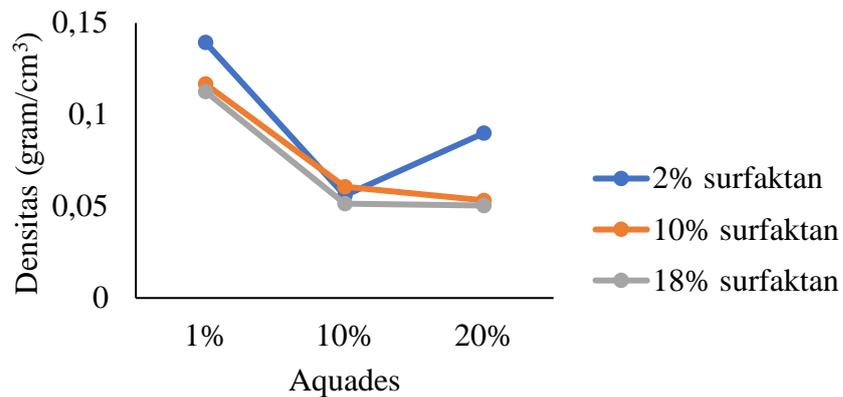
tegangan-regangan. Sementara itu, nilai kuat tekan untuk komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut adalah 0,59 MPa, 0,16 MPa, dan 0,16 MPa. Berdasarkan grafik nilai modulus *Young* pada komposisi aquades 1%, 10%, dan 20% secara berturut-turut adalah 1,5979 MPa, 0,3789 MPa, dan 0,3529 MPa. Apabila data nilai modulus *Young* dan nilai kuat tekan dibandingkan, dapat dilihat bahwa hasilnya sesuai dengan apa yang telah disebutkan dalam literatur [42]. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai modulus *Young* dari busa, maka busa tersebut akan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Dalam konteks ini, komposisi dengan konsentrasi aquades yang lebih tinggi, seperti 20%, memiliki nilai modulus *Young* yang lebih rendah, sehingga busa tersebut lebih fleksibel dan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aquades dalam formulasi busa poliuretan dapat mengubah sifat mekanik busa, seperti kekakuan dan kekuatan. Dalam penelitian ini, semakin tinggi konsentrasi aquades yang digunakan, semakin rendah nilai modulus *Young* dan nilai kuat tekan busa poliuretan. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan formulasi busa poliuretan sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu, di mana kekakuan dan kekuatan yang berbeda-beda diperlukan.

4.2.2 Analisis Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas pada busa poliuretan dilakukan dengan tujuan untuk mengukur massa dan volume dari masing-masing spesimen busa. Metode yang umum digunakan adalah metode Archimedes, yang

didasarkan pada prinsip bahwa massa benda yang terendam dalam fluida akan mengalami perubahan akibat gaya apung yang diberikan oleh fluida tersebut. Pada pengujian ini, standar yang digunakan adalah ASTM D1622, yang memberikan pedoman untuk pengujian densitas busa poliuretan. Alat yang digunakan adalah *analytical balance* AS 220.R2, yang memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang memadai untuk mengukur massa dengan tepat. Dalam pengujian densitas, komposisi aquades dalam formulasi busa poliuretan memainkan peran penting dalam menentukan nilai densitas busa yang dihasilkan. Pada tabel 4.2, terlihat bahwa semakin besar komposisi aquades yang digunakan, nilai densitas busa cenderung semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan dengan cara berikut, saat aquades bereaksi dengan MDI (*Methylene Diphenyl Diisocyanate*), gas karbon dioksida (CO₂) dihasilkan sebagai produk sampingan. Gas ini berperan sebagai *blowing agent* atau pendorong pembentukan pori dalam busa poliuretan. Semakin banyak aquades yang digunakan, semakin banyak gas CO₂ yang terbentuk, dan ini akan menyebabkan pembentukan pori-pori yang lebih banyak dalam busa. Pori-pori ini mengurangi kepadatan keseluruhan busa poliuretan karena meningkatkan volume busa tanpa menambahkan massa secara signifikan. Oleh karena itu, semakin besar komposisi aquades yang digunakan, semakin kecil nilai densitas busa poliuretan yang dihasilkan. Informasi ini penting dalam pengembangan busa poliuretan karena densitas busa dapat mempengaruhi sifat mekanik dan akustik busa. Dengan mengatur

komposisi aquades, para peneliti dan produsen dapat mengoptimalkan sifat fisik dan mekanik busa poliuretan sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang diinginkan.



Gambar 4.4 Pengaruh Penambahan Variasi Komposisi Aquades Terhadap Densitas Busa Poliuretan

Pada gambar 4.4 dapat terlihat bahwa semakin besar komposisi aquades yang digunakan dapat menurunkan nilai densitas busa.. Busa dengan komposisi Aquades sebesar 1% dengan penambahan Surfaktan 2% memiliki nilai densitas sebesar 0,139370 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Aquades 10% dengan penambahan Surfaktan 2% busa memiliki nilai densitas sebesar 0,055929 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Aquades 20% dengan penambahan Surfaktan 2% memiliki nilai densitas sebesar 0,090007 gram/cm³. Busa dengan komposisi Aquades sebesar 1% dengan penambahan Surfaktan 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,116657 gram/cm³. Pada komposisi penambahan

Aquades sebesar 10% dengan penambahan Surfaktan 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,060683 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Aquades sebesar 20% dengan penambahan Surfaktan 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,053263 gram/cm³. Busa dengan komposisi Aquades sebesar 1% dengan penambahan Surfaktan 18% memiliki nilai densitas sebesar 0,112617 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Aquades sebesar 10% dengan penambahan Surfaktan 18% memiliki nilai densitas sebesar 0,051448 gram/cm³. Pada komposisi penambahan penambahan Aquades sebesar 20% dengan penambahan Surfaktan 18% memiliki nilai densitas sebesar 0.050458 gram/cm³. Data yang didapatkan ini kurang sesuai dengan literatur yang ada, karena pada komposisi aquades sebesar 10% busa memiliki nilai densitas lebih rendah jika dibandingkan dengan komposisi aquades sebesar 20% berdasarkan grafik, seharusnya dimana semakin besar komposisi aquades yang digunakan maka nilai densitasnya menurun [42].

4.3 Pengaruh Komposisi Surfaktan Terhadap Busa Poliuretan

Penambahan surfaktan silikon dalam pembuatan busa poliuretan memiliki beberapa fungsi penting. Salah satu fungsi utama surfaktan silikon adalah sebagai stabilizer. Surfaktan membantu mencapai keseragaman dan struktur sel yang baik pada busa poliuretan yang terbentuk. Dalam konteks ini, surfaktan silikon membantu mencegah terbentuknya sel-sel yang terlalu besar atau terlalu kecil, sehingga menciptakan struktur sel yang seragam dan konsisten. Selain itu,

surfaktan juga berperan sebagai agen pengemulsi atau emulsifier yang membantu mencampurkan komponen yang tidak saling larut dalam sistem poliuretan. Surfaktan memiliki sifat amfifilik, yang berarti memiliki dua bagian yang berbeda: hidrofilik (suka air) dan hidrofobik (tidak suka air) [29]. Bagian hidrofilik surfaktan berinteraksi dengan fase air atau aquades yang ditambahkan sebagai *blowing agent*, sementara bagian hidrofobik surfaktan berinteraksi dengan fase poliuretan yang terdiri dari *castor oil* dan MDI. Dengan adanya surfaktan, molekul-molekul yang seharusnya tidak saling larut dapat terdispersi dengan baik dalam sistem poliuretan, sehingga membantu mencapai homogenitas dan stabilitas yang baik. Data mengenai pengaruh komposisi surfaktan silikon terhadap pembentukan busa poliuretan dapat ditemukan pada Tabel 4.4. Tabel ini memberikan informasi tentang komposisi surfaktan silikon yang berbeda dan dampaknya terhadap sifat-sifat busa yang terbentuk, seperti densitas, kekuatan tekan, atau modulus *young*. Dengan mempelajari tabel tersebut, kita dapat memahami bagaimana variasi komposisi surfaktan silikon mempengaruhi karakteristik busa poliuretan yang dihasilkan, dan hal ini dapat membantu dalam memilih komposisi yang sesuai untuk aplikasi tertentu. Penggunaan surfaktan silikon dalam pembuatan busa poliuretan memberikan keuntungan dalam mencapai keseragaman, struktur sel yang baik, dan kompatibilitas bahan yang lebih baik. Namun, penting untuk dicatat bahwa pemilihan komposisi surfaktan silikon harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dan harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti sifat fisik dan mekanik yang diinginkan dari busa poliuretan yang akan dibuat.

Tabel 4.4 Hasil Busa Poliuretan dengan Variasi Komposisi Surfaktan

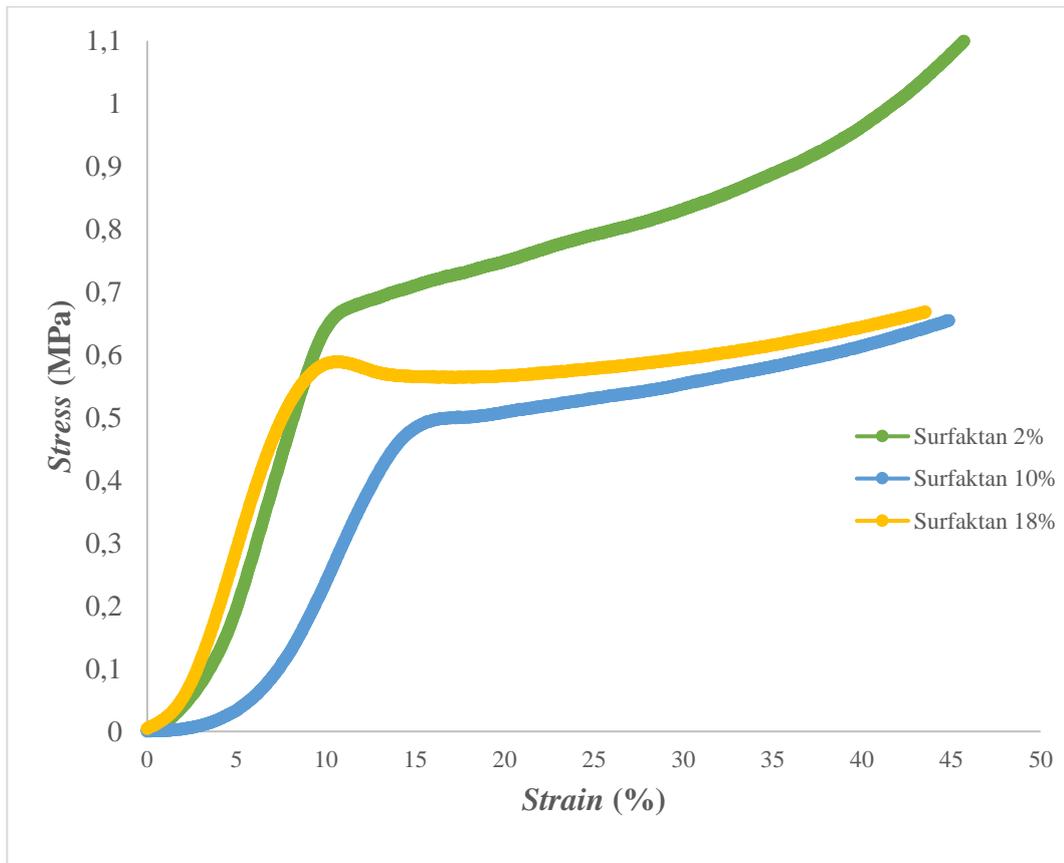
Komposisi Aquades (pphp)	Komposisi Surfaktan (pphp)	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Young (MPa)	Densitas (gram/cm³)	Jenis Busa
1%	2%	0,81	2,6012	0,139370	<i>Rigid</i>
1%	10%	0,53	1,5391	0,116657	<i>Rigid</i>
1%	18%	0,59	1,5979	0,112617	<i>Rigid</i>
10%	2%	0,21	0,5227	0,055929	<i>Semi Rigid</i>
10%	10%	0,23	0,6451	0,060683	<i>Rigid</i>
10%	18%	0,16	0,3789	0,051448	<i>Semi Rigid</i>
20%	2%	0,12	0,3733	0,090007	<i>Flexible</i>
20%	10%	0,13	0,3295	0,053263	<i>Flexible</i>
20%	18%	0,16	0,3529	0,050458	<i>Flexible</i>

4.3.1 Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pada pengujian kuat ini, tujuannya adalah untuk menganalisis pengaruh surfaktan silikon terhadap kekuatan busa poliuretan yang telah dibuat. Berdasarkan literatur yang ada [44], apabila komposisi surfaktan silikon yang digunakan lebih besar dibandingkan dengan komposisi *blowing agent* yang digunakan (aquades), maka busa yang terbentuk cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi surfaktan yang lebih kecil daripada komposisi *blowing agent*. Dalam pengujian ini, hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang

memberikan informasi mengenai kekuatan busa poliuretan yang terbentuk dengan variasi komposisi surfaktan silikon. Tabel ini mencantumkan nilai kuat tekan untuk komposisi surfaktan silikon 2%, 10%, dan 18% dengan komposisi aquades 1%, 10% dan 20%. Selanjutnya, grafik tegangan dan regangan dapat digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dari masing-masing sampel busa poliuretan. Grafik ini menunjukkan perubahan tegangan terhadap regangan yang diberikan pada sampel busa, dan dari grafik ini dapat diperoleh nilai modulus *Young* yang merupakan ukuran kekakuan materi.

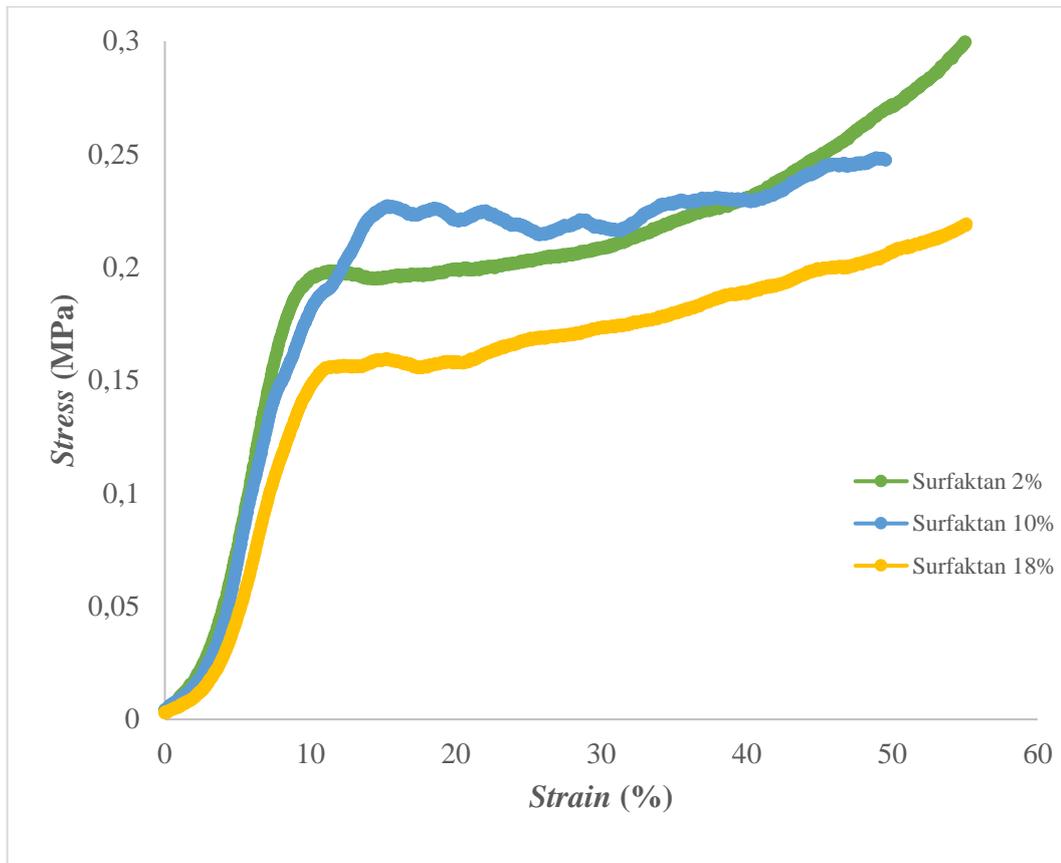
Dalam gambar 4.5, dapat dilihat grafik tegangan-regangan untuk komposisi aquades 1% dengan komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18%. Dari grafik tersebut, kita dapat menentukan nilai modulus *Young* dengan menghitung kemiringan garis regresi *linear* yang mewakili perilaku elastis material. Nilai modulus *Young* kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi kekakuan dan sifat mekanik dari busa poliuretan yang terbentuk. Dalam konteks ini, jika komposisi surfaktan silikon meningkat, maka busa poliuretan cenderung memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Namun, perlu dicatat bahwa selain komposisi surfaktan silikon, faktor-faktor lain seperti komposisi *blowing agent* (aquades) dan parameter pembuatan busa juga dapat memengaruhi kekuatan dan sifat mekanik busa poliuretan yang terbentuk.



Gambar 4.5 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Surfaktan 2%, 10%, dan 18% dengan Komposisi Aquades 1%

Data tersebut merupakan hasil dari pengujian kuat tekan menggunakan komposisi aquades 1% dengan variasi komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18%. Dalam grafik tegangan regangan (gambar 4.5), dapat dilihat hubungan antara tegangan dan regangan dari masing-masing sampel busa poliuretan, serta nilai modulus *Young* yang diperoleh dari grafik tersebut. Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel 4.4, nilai kuat tekan untuk komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% secara berturut-turut adalah 0,81 MPa, 0,53 MPa, dan 0,59 MPa. Berdasarkan grafik nilai

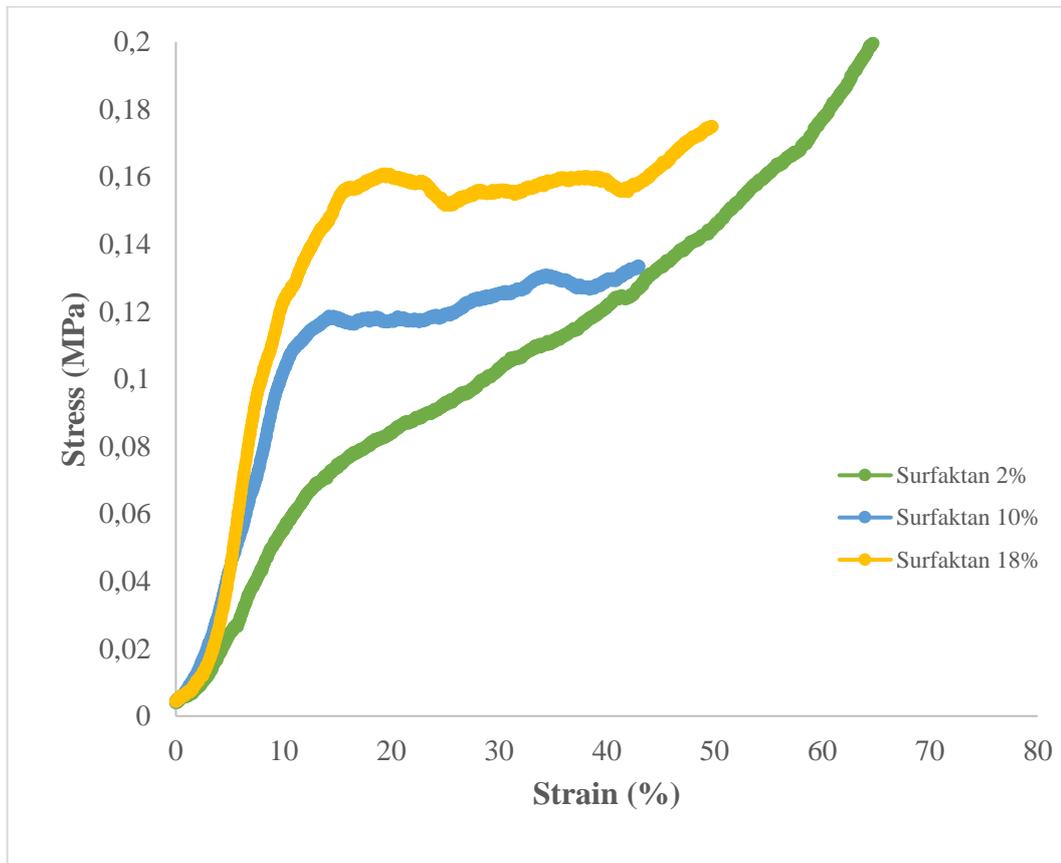
modulus *Young* pada komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% adalah 2,6012 MPa, 1,5391 MPa, dan 1,5979 MPa. Dalam hal ini, terdapat ketidaksesuaian antara nilai kuat tekan pada busa dengan komposisi surfaktan 2% dengan literatur yang disebutkan sebelumnya. Biasanya, nilai kuat tekan pada komposisi surfaktan yang lebih rendah seharusnya lebih kecil dibandingkan dengan komposisi surfaktan yang lebih tinggi. Penyebab ketidaksesuaian tersebut dapat disebabkan oleh proses pengadukan yang tidak homogen selama pembuatan busa, sehingga saat proses *curing*, busa yang dihasilkan memiliki kekerasan yang tidak merata. Hal ini dapat mengakibatkan variasi dalam nilai kuat tekan busa. Namun, pada busa dengan komposisi surfaktan 10% dan 18%, data tersebut sesuai dengan literatur yang disebutkan sebelumnya [44]. Ini mengindikasikan bahwa semakin kecil nilai modulus *Young* dari busa, maka busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah, dan sebaliknya, semakin besar nilai modulus *Young*, busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi.



Gambar 4.6 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Surfaktan 2%, 10%, dan 18% dengan Komposisi Aquades 10%

Data tersebut merupakan hasil dari pengujian kuat tekan menggunakan komposisi aquades 10% dengan variasi komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18%. Dalam grafik tegangan regangan (gambar 4.6), dapat dilihat hubungan antara tegangan dan regangan dari masing-masing sampel busa poliuretan, serta nilai modulus *Young* yang diperoleh dari grafik tersebut. Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel 4.4, nilai kuat tekan untuk komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% secara berturut-turut adalah 0,21 MPa, 0,23 MPa, dan 0,16 MPa. Berdasarkan grafik nilai modulus *Young* pada komposisi surfaktan 2%, 10%, dan

18% adalah 0,5227 MPa, 0,6451 MPa, dan 0,3789 MPa. Dalam hal ini, terdapat ketidaksesuaian antara nilai kuat tekan pada busa dengan komposisi surfaktan 18% dengan literatur yang disebutkan sebelumnya. Biasanya, nilai kuat tekan pada komposisi surfaktan yang lebih tinggi seharusnya lebih besar dibandingkan dengan komposisi surfaktan yang lebih rendah. Penyebab ketidaksesuaian tersebut dapat disebabkan oleh proses pengadukan yang tidak homogen selama pembuatan busa, sehingga saat proses *curing*, busa yang dihasilkan memiliki kekerasan yang tidak merata. Hal ini dapat mengakibatkan variasi dalam nilai kuat tekan busa. Namun, pada busa dengan komposisi surfaktan 2% dan 10%, data tersebut sesuai dengan literatur yang disebutkan sebelumnya [44]. Ini mengindikasikan bahwa semakin kecil nilai modulus *Young* dari busa, maka busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah, dan sebaliknya, semakin besar nilai modulus *Young*, busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi.



Gambar 4.7 Grafik *Stress-Strain* Variasi Komposisi Surfaktan 2%, 10%, dan 18% dengan Komposisi Aquades 20%

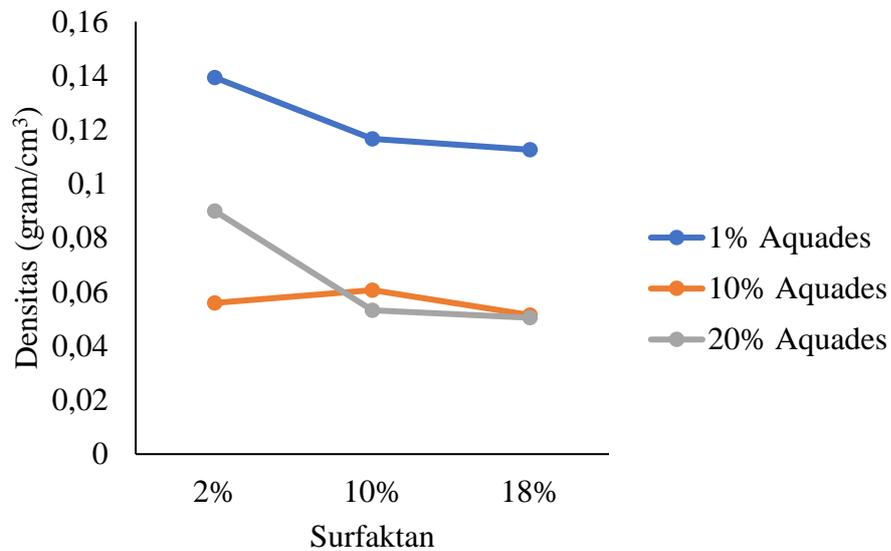
Data tersebut merupakan hasil pengujian kuat tekan menggunakan komposisi aquades 20% dengan variasi komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18%. Dalam gambar 4.7, terdapat grafik tegangan regangan yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan dari masing-masing sampel busa poliuretan, serta nilai modulus *Young* yang diperoleh dari grafik tersebut. Berdasarkan grafik nilai modulus *Young* pada komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% secara berturut-turut adalah 0,12 MPa, 0,13 MPa, dan 0,16 MPa. Sedangkan data yang terdapat dalam tabel

4.4 nilai modulus *Young* untuk komposisi surfaktan 2%, 10%, dan 18% adalah 0,3733 MPa, 0,3295 MPa, dan 0,3529 MPa. Apabila nilai modulus *Young* dan nilai kuat tekan dibandingkan, data tersebut sesuai dengan literatur yang telah disebutkan sebelumnya [44]. Prinsip yang dijelaskan sebelumnya menyatakan bahwa semakin kecil nilai modulus *Young* dari busa, maka busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah. Sebaliknya, jika nilai modulus *Young* busa semakin besar, maka busa cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi. Hal ini dapat dijelaskan oleh karakteristik mekanik busa poliuretan. Modulus *Young* merupakan ukuran kekakuan atau kekakuan relatif dari suatu bahan, sedangkan kuat tekan adalah kemampuan bahan untuk menahan gaya terhadap deformasi. Ketika nilai modulus *Young* semakin kecil, busa poliuretan menjadi lebih elastis dan mudah terdeformasi, sehingga nilai kuat tekannya cenderung lebih rendah. Sebaliknya, jika nilai modulus *Young* semakin besar, busa poliuretan menjadi lebih kaku dan kurang terdeformasi, sehingga nilai kuat tekannya cenderung lebih tinggi.

4.3.2 Analisis Hasil Pengujian Densitas

Dalam penelitian yang dilakukan oleh [45], bahwa semakin besar komposisi surfaktan dapat menurunkan nilai densitas busa poliuretan. Dalam konteks ini, surfaktan berfungsi sebagai bahan tambahan dalam pembuatan busa poliuretan untuk mempengaruhi sifat fisik busa, termasuk densitas. Surfaktan merupakan senyawa yang memiliki dua bagian, yaitu hidrofilik (suka air) dan hidrofobik (tidak suka air). Dalam proses

pembuatan busa poliuretan, surfaktan silikon digunakan sebagai stabilizer yang berpengaruh terhadap keseragaman dan struktur sel busa. Selain itu, surfaktan juga dapat digunakan untuk mencampurkan komponen yang tidak saling larut. Dalam konteks densitas, penggunaan surfaktan silikon dalam komposisi busa poliuretan dapat menghasilkan efek pengurangan densitas busa. Hal ini terjadi karena surfaktan, melalui sifat hidrofilik dan hidrofobiknya, mempengaruhi reaksi dan distribusi gas *blowing agent* (agen pembentuk pori) dalam busa. Penggunaan surfaktan silikon dalam jumlah yang lebih besar dapat menyebabkan peningkatan pembentukan pori dan dispersi yang lebih baik dari gas *blowing agent* dalam busa poliuretan. Hal ini menghasilkan peningkatan jumlah dan ukuran pori dalam struktur busa, sehingga densitas busa menjadi lebih rendah. Berdasarkan buku "*Practical Guide to Flexible Polyurethane Foams*" surfaktan berfungsi sebagai stabilisasi dinding sel, sehingga apabila komposisi surfaktan yang digunakan lebih besar maka dinding sel akan semakin stabil sehingga membentuk *closed cell* atau dinding sel tertutup [28].



Gambar 4.8 Pengaruh Penambahan Variasi Komposisi Surfaktan Terhadap Densitas Busa Poliuretan

Pada gambar 4.8, terlihat bahwa semakin besar komposisi surfaktan yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan, nilai densitas busa tersebut menurun. Busa dengan komposisi Surfaktan sebesar 2% dengan penambahan Aquades 1% memiliki nilai densitas sebesar 0,139370 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 10% dengan penambahan Aquades 1% busa memiliki nilai densitas sebesar 0,116657 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 18% dengan penambahan Aquades 1% memiliki nilai densitas sebesar 0,112617 gram/cm³. Busa dengan komposisi Surfaktan sebesar 2% dengan penambahan Aquades 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,055929 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 10% dengan penambahan Aquades 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,060683

gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 18% dengan penambahan Aquades 10% memiliki nilai densitas sebesar 0,051448 gram/cm³. Busa dengan komposisi Surfaktan sebesar 2% dengan penambahan Aquades 20% memiliki nilai densitas sebesar 0,090007 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 10% dengan penambahan Aquades 20% memiliki nilai densitas sebesar 0,053263 gram/cm³. Pada komposisi penambahan Surfaktan sebesar 18% dengan penambahan Aquades 20% memiliki nilai densitas sebesar 0,050458 gram/cm³. Data ini sesuai dengan literatur penelitian yang telah dilakukan oleh [45], bahwa semakin besar komposisi surfaktan dapat menurunkan nilai densitas busa poliuretan. Surfaktan silikon, yang digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan busa poliuretan, memiliki peran penting dalam mempengaruhi sifat fisik busa, termasuk densitas. Selain itu, surfaktan juga memiliki kemampuan untuk mencampurkan komponen yang tidak saling larut dalam sistem poliuretan. Dalam konteks densitas, penggunaan surfaktan silikon dalam komposisi busa poliuretan menghasilkan efek pengurangan densitas busa. Mekanisme di balik pengurangan densitas busa oleh surfaktan dapat dijelaskan saat surfaktan ditambahkan ke dalam campuran poliuretan, bagian hidrofilik dari molekul surfaktan akan berinteraksi dengan fase air atau fase air-dalam-udara dalam sistem. Sementara itu, bagian hidrofobik dari surfaktan akan berinteraksi dengan fase poliuretan. Interaksi ini membantu memperbaiki dispersi bahan-bahan dalam sistem dan memfasilitasi

pembentukan pori yang lebih homogen dan terdistribusi dengan baik. Pengurangan densitas busa yang dihasilkan oleh surfaktan silikon berkaitan dengan pengaturan pembentukan pori. Semakin besar komposisi surfaktan yang digunakan, semakin efektif proses dispersi dan pembentukan pori dalam busa poliuretan. Sebagai akibatnya, ukuran dan distribusi pori dalam busa menjadi lebih konsisten, yang mengarah pada penurunan densitas keseluruhan busa.