

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tinjauan umum mengenai simplisia jahe, teknik pengeringan, *solar dryer*, serta landasan teori yang digunakan sebagai referensi untuk melakukan eksperimen pada alat pengering simplisia menggunakan panas sinar matahari dengan *backup* kompor biomassa untuk mengkaji pemenuhan standar kualitas simplisia jahe serta hasil penelitian sebelumnya.

2.1 SIMPLISIA JAHE

Berikut merupakan tinjauan mengenai teori-teori yang digunakan dalam pembuatan simplisia jahe.

2.1.1 Penanganan Rimpang Jahe

Menurut Sembiring dan Yuliani (2012), penanganan rimpang jahe dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu penyortiran awal, pencucian, penirisan atau pengeringan, sortasi dan *grading*, pengemasan serta penyimpanan. Tahap-tahap tersebut harus dilakukan agar meminimalkan kerusakan hasil panen sehingga rimpang jahe pun yang dihasilkan dapat memenuhi standar kualitas yang diharapkan serta dapat meningkatkan nilai ekonomi rimpang jahe tersebut.

a. Penyortiran Awal

Hasil panen jahe segar harus segera dilakukan penyortiran agar kualitasnya tetap terjaga. Rimpang jahe yang baik harus langsung dibersihkan dan dipisahkan dari rimpang yang busuk. Penyortiran awal ini dilakukan agar rimpang jahe yang dihasilkan terjaga bentuknya dan higienitasnya. Rimpang jahe yang baik adalah rimpang jahe yang memiliki persyaratan umum sesuai dengan SNI 01-7087-2005.

Tabel 2.1 Persyaratan Umum Rimpang Jahe

No.	Jenis Uji	Persyaratan
1.	Kesegaran jahe	Segar
2.	Rimpang bertunas	Tidak ada
3.	Kenampakan irisan melintang	Cerah
4.	Bentuk rimpang	Utuh
5.	Serangga hidup dan hama lain	Bebas

Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2005

b. Pencucian

Pencucian dilakukan agar rimpang bersih dari kotoran-kotoran yang menempel yang dapat merusak kualitas rimpang. Air yang digunakan untuk mencuci juga harus diperhatikan. Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari bakteri atau patogen lainnya. Cara pencucian dapat dilakukan dengan penyemprotan bertekanan tinggi dan dibantu dengan sikat yang terbuat dari plastik. Menurut Risfaheri dan Laksmanahardja (1997), rimpang jahe dapat dicuci atau dibersihkan dengan menggunakan alat pembersih rimpang jahe. Kapasitas riil pencucian rata-rata 290 kg rimpang/jam dengan persentase jahe bersih hasil pencucian rata-rata 90%.

c. Penirisan/Pengeringan

Rimpang yang sudah dicuci bersih langsung ditiriskan menggunakan rak pengering. Rak ini biasanya terbuat dari kawat yang berlubang. Tujuannya untuk mempermudah sirkulasi udara. Rimpang perlu dibolak-balik secara periodik untuk memastikan bahwa kekeringan rimpang seragam. Rak pengering yang digunakan juga harus bersih, tidak berkarat dan tidak bereaksi dengan rimpang yang dijemur serta ditempatkan pada tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung. Pada proses pengeringan ini, rimpang cukup diangin-anginkan dan dilakukan hingga airnya tidak menetes lagi.

d. Sortasi dan *Grading*

Rimpang yang telah bersih dan kering kemudian dipisahkan sesuai dengan ukuran atau *grade* serta tujuan penggunaan. Di pasaran, kualitas rimpang jahe segar biasanya dibagi menjadi 3 kategori, yaitu sebagai berikut:

1. Mutu I : bobot 250 gram/rimpang, kulit tidak terkelupas, tidak terdapat benda asing dan pengotor dan tidak berjamur
2. Mutu II : bobot 150-249 gram/rimpang, kulit tidak terkelupas, tidak mengandung benda asing dan tidak berjamur

3. Mutu III : bobot bobot dibawah 150 gram/rimpang atau sesuai hasil analisis, kulit yang terkelupas maksimum 10%, benda asing maksimum 3% dan kapang maksimum 10%.

e. Pengemasan

Rimpang jahe yang sudah disortir dapat dikemas sesuai dengan kebutuhannya. Rimpang yang digunakan untuk pembuatan simplisia dapat diletakkan pada wadah apapun untuk sementara waktu, namun tetap memperhatikan kebersihan wadah. Untuk pengiriman ke perdagangan, rimpang dapat dikemas menggunakan jala plastik atau peti kayu yang dilapisi kertas. Pemngemasan yang baik diperlukan untuk menghindari kerusakan, baik selama pengangkutan maupun penyimpanan.

f. Penyimpanan

Rimpang yang telah dikemas dapat disimpan sebelum diolah lebih lanjut. Kebersihan ruang penyimpanan harus diperhatikan. Bila perlu dilakukan fumigasi terlebih dahulu untuk membasmi hama atau serangga yang dapat merusak rimpang. Selain itu, sirkulasi udara di dalam ruangan harus baik, kelembaban udara rendah (65%), cahaya cukup, suhu ruangan maksimal 30°C dan tidak bocor.

2.1.2 Pengolahan Simplisia Jahe

Simplisia adalah bahan alami yang digunakan sebagai bahan baku obat yang belum mengalami pengolahan tetapi sudah dikeringkan (Ditjen POM, 1982). Rimpang jahe segar diolah menjadi simplisia dengan cara dipotong atau diiris dengan ukuran tertentu baru kemudian dikeringkan dengan alat pengering. Oleh karena itu, kualitas simplisia sangat dipengaruhi pada saat proses pemotongan dan proses pengeringan.

a. Proses Pemotongan

Rimpang jahe segar yang akan dibuat menjadi simplisia harus dipotong secara membujur dengan ketebalan sekitar 3 – 5 mm. Hal ini dilakukan karena rimpang jahe segar mengandung banyak serat, pemotongan secara

membujur ini dapat mengurangi terputusnya serat-serat yang di dalamnya terdapat minyak atsiri. Pemotongan harus menggunakan pisau stainless yang tajam agar bentuk simplisia baik dan tidak rusak.

b. Proses Pengeringan

Inti dasar dari pengeringan adalah mengurangi kandungan air dari produk hingga level tertentu untuk mencegah penurunan kualitas dalam batas waktu yang dapat dianggap sebagai “waktu penyimpanan yang aman” (Ekechukwu dan Norton, 1999). Oleh karena itu, pengeringan banyak dilakukan agar bahan makanan tidak rusak, sehingga masih dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih panjang.

2.1.3 Standar Simplisia Jahe

Beberapa kandungan simplisia jahe yang biasanya diperhatikan sebagai simplisia standar adalah.

a. Kandungan Air

Kandungan air dalam bahan dapat dibedakan sebagai berikut :

1. *Moisture content (Wet Basis)*

$$\text{Moisture Content} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{persamaan 2.1}$$

$$\text{Moisture Content} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan kering} + \text{massa air}} \times 100\% \dots\dots \text{persamaan 2.2}$$

2. *Moisture content (Dry Basis)*

$$\text{Moisture Content} = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan kering}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{persamaan 2.3}$$

3. *Moisture content Equilibrium Moisture (X*)* adalah kandungan air dalam bahan pada saat kesetimbangan dengan tekanan parsial uapnya. Pada temperatur dan humidity tersebut bahan tidak dapat dikeringkan lagi di bawah *equilibrium moisture content*-nya yang seimbang dengan uapnya dalam fase gas.

4. *Bound Moisture* adalah *moisture* yang terkandung di dalam bahan pada saat kesetimbangan sama dengan tekanan uap cairan murni pada temperatur dan suhu yang sama.

commit to user

5. *Unbound Moisture* adalah kandungan air yang terkandung di dalam bahan pada saat tekanan uap kesetimbangan sama dengan tekanan uap murni pada suhu sama.
6. *Free Moisture $X-X^*$* adalah kandungan air dalam bahan, di atas harga equilibrium moisture-nya.

b. Kandungan Gingerol

Gingerol adalah kandungan yang paling penting pada tanaman jahe. Gingerol diketahui mengandung bahan yang bersifat *antiemetic*, *analgesic*, *antipyretic*, *anti-inflammatory*, *chemopreventive*, dan *antioxidant*. Simplisia yang baik memiliki kandungan gingerol minimum 0,82%.

c. Kandungan Minyak Atsiri

Minyak atsiri adalah minyak yang mudah menguap yang terdiri atas campuran zat dengan komposisi dan titik didih yang berbeda. Sebagian besar minyak atsiri diperoleh dengan cara penyulingan atau hidrodestilasi. Dewasa ini, minyak atsiri banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti industri parfum, kosmetik, essence, farmasi dan flavoring agent. Biasanya, minyak atsiri yang berasal dari rempah digunakan sebagai flavoring agent makanan. Bahkan dewasa ini sedang dikembangkan penyembuhan penyakit dengan aromatherapy, yaitu dengan menggunakan minyak atsiri yang berasal dari tanaman. Minyak atsiri yang disuling dari jahe berwarna bening sampai kuning tua bila bahan yang digunakan cukup kering. Lama penyulingan dapat berlangsung sekitar 10 – 15 jam, agar minyak dapat tersuling semua. Kadar minyak dari jahe sekitar 1,5 – 3 %. Standar mutu minyak jahe, masih mengacu pada ketentuan EOA (Essential Oil Association).

Selain itu, Badan Standardisasi Nasional (2005) juga memiliki persyaratan khusus untuk simplisia yang dapat dikategorikan menjadi simplisia yang baik. Persyaratan khusus tersebut terdapat pada tabel 2.2.

commit to user

Tabel 2.2 Persyaratan Khusus Simplisia Jahe

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan
1.	Rimpang yang terkelupas kulitnya (R/jml R), maks.	%	5
2.	Rimpang busuk (R/jml R)	%	0
3.	Kadar abu, maks.	%	5
4.	Kadar ekstrak yang larut dalam air, maks.	%	15,6
5.	Kadar ekstrak yang larut dalam etanol min.	%	4,3
6.	Benda asing, maks.	%	2
7.	Kadar minyak atsiri, min.	%	1,5
8.	Kadar timbe, maks.	mg/kg	1
9.	Kadar arsen	mg/kg	negatif
10.	Kadar tembaga	mg/kg	30
11.	Angka lempeng total	koloni/g	1×10^7
12.	Telur nematoda	butir/g	0
13.	Kapang dan khamir	koloni/g	Maks 10^4

Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 2005

Untuk mengetahui apakah simplisia telah persyaratan-persyaratan khusus tersebut, dapat dilakukan pengujian-pengujian sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2005).

a. Kadar abu

Cara uji kadar abu sesuai SNI 01-3187-1992, *Bumbu dan rempah-rempah, Penentuan abu total*.

b. Kadar ekstrak yang larut dalam air

Metode ini digunakan untuk menentukan kadar zat terekstrak dalam air dari suatu bahan berdasarkan pada Materia Medika Indonesia, Jilid VI, 1995, Lampiran 9.

c. Kadar ekstrak yang larut dalam etanol

d. Benda asing

Cara uji penentuan benda asing sesuai SNI 01-3185-1992, *Bumbu dan rempah-rempah, Penentuan benda asing*.

e. Kadar minyak atsiri

Cara Uji penentuan kadar minyak atsiri sesuai SNI-06-3193-1992, *Penentuan kadar minyak atsiri cassia indonesia*.

f. Cemarkan logam (timbal (Pb) dan tembaga (Cu))

Cara uji cemarkan logam timbel dan tembaga sesuai SNI 19-2896-1992, *Cara uji cemarkan logam*, butir 3.4.

g. Cemarkan arsen

Cara uji cemarkan arsen sesuai SNI 19-2896-1992. *Cara uji cemarkan logam*, butir 6.

h. Angka lempeng total

Cara uji angka lempeng total sesuai SNI 19-2897-1992, *Cara uji cemarkan mikroba*, butir B. Cara pemeriksaan mikroba No.1.

i. Telur nematoda

2.2 TEKNIK PENGERINGAN

Menurut Visavale (2012), pengeringan adalah fenomena hilangnya cairan oleh evaporasi (penguapan) dari sebuah benda padat.

Menurut Earle dan Earle (1983), proses pengeringan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori:

a. *Air and contact drying under atmospheric pressure*

Pada model pengeringan ini, panas dipindahkan ke bahan yang akan dikeringkan melalui udara panas atau permukaan panas. Uap air dipindahkan oleh udara tadi.

b. *Vacuum drying.*

Pengeringan model ini berdasarkan kepada fakta bahwa penguapan air akan lebih cepat terjadi pada tekanan rendah daripada pada tekanan tinggi. Perpindahan panas yang terjadi pada pengeringan vakum adalah secara konduksi dan terkadang radiasi.

c. *Freeze drying.*

Pada pengeringan ini uap air disublimasi dari material beku, contohnya makanan beku. Struktur makanan lebih baik jika dijaga dalam kondisi beku. Temperatur dan tekanan yang sesuai harus diatur dalam *dryer* untuk memastikan bahwa proses sublimasi terjadi.

Sedangkan *solar dryer* yang dikembangkan termasuk pengaplikasian proses pengeringan *air and contact drying under atmospheric pressure* karena proses pengeringan menggunakan panas yang mengalir melalui udara yang terjebak di dalam kabinet pengering atau melalui *exhaust* dari sisa pembakaran menggunakan kompor biomassa.

commit to user

Sementara itu, terdapat beberapa istilah yang sering digunakan dalam proses pengeringan.

- a. *Constant-rate period*, adalah waktu pengeringan dimana kecepatan hilangnya air per unit dari permukaan yang dikeringkan pada keadaan stabil.
- b. *Critical moisture content*, adalah kadar air rata-rata saat kecepatan stabil berakhir.
- c. *Dry-weight basis*, adalah sebutan untuk kadar air pada benda padat yang mengandung air dengan satuan kilogram air per kilogram batangan benda padat kering.
- d. *Equilibrium moisture content*, adalah batas kadar air pada material yang dapat dikeringkan di bawah kondisi suhu udara dan kelembaban tertentu.
- e. *Free-moisture content*, adalah cairan yang dihilangkan pada suhu dan os yang diatur, termasuk
- f. *Initial moisture distribution*, diartikan sebagai sebaran kadar air pada benda padat saat pengeringan dimulai.
- g. *Moisture content*, adalah jumlah kasar air per unit berat dari benda padat basah ataupun kering.
- h. *Moisture gradient*, adalah sebaran air pada benda padat saat waktu tertentu pada proses pengeringan.
- i. *Wet-weight basis*, adalah sebutan untuk kadar air pada material sebagai persentase berat benda padat yang basah.

2.2.1 PENGERINGAN BAHAN PANGAN

Mekanisme pengendalian proses pengeringan produk pangan bergantung pada struktur bahan beserta parameter pengeringan, yaitu kadar air, dimensi produk, suhu medium pemanas, berbagai laju perpindahan pada permukaan dan kesetimbangan kadar air.

Kesetimbangan kadar air ini bergantung kepada sifat alami bahan padat yang dikeringkan dan kondisi udara pengering. Oleh karena itu, mekanisme pengeringan dapat dibagi dalam 3 katagori. Pertama, penguapan dari suatu

permukaan bebas. Operasi ini mengikuti hukum pindah panas dan pindah masa yang berlaku pada suatu objek basah. Kedua, aliran bahan cair dalam pipa-pipa kapiler, dan yang ketiga difusi bahan cair atau uap air. Operasi ini mengikuti hukum difusi II *Fick's law*. Kemampuan udara pengering memindahkan air dari produk yang dikeringkan bergantung kepada suhu dan jumlah uap air yang berada atau dikandung oleh udara tersebut atau dikenal dengan istilah kelembaban mutlak udara (*absolute humidity*).

Pengeringan merupakan proses pemakaian panas dan pemindahan air dari bahan yang dikeringkan yang berlangsung secara serentak bersamaan. Proses pengeringan melibatkan mode pindah panas konduksi, pindah panas konveksi dan atau radiasi. Pada sistem pengering konduksi, medium pemanas yang digunakan biasanya uap panas dan terpisah dari bahan padat yang akan dikeringkan, contohnya pada drum dryer, yang kadang kala dikombinasi dengan sistem vakum. Pada sistem pengering tipe konveksi, medium pemanas yang dipakai biasanya udara dan udara pemanas ini kontak langsung dengan bahan pangan padat yang dikeringkan, terjadi difusi uap air dari dan didalam produk pangan. Contoh pengering tipe konveksi ini misalnya pengering oven, pengering semprot (*spray dryer*), *fluidized bed dryer*, *rotary dryer*. Pengering tipe radiasi memakai sumber panas dari *radiant energy*, misalnya alat pengering yang menggunakan energi microwave untuk mengeringkan produk pangan.

Hal yang terpenting, Yusra dan Efendi (2010) menyebutkan, makanan yang dikeringkan mempunyai nilai gizi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan segarnya.

2.3 SOLAR DRYER

Awalnya, masyarakat menggunakan metode *open sun drying* untuk mengeringkan suatu material. Namun, jika digunakan untuk mengeringkan bahan makanan, *open sun drying* sangat tidak efektif karena membuat bahan makanan tersebut terkontaminasi kotoran atau hewan-hewan. Kemudian, dikembangkanlah *solar drying*, yang merupakan metode baru untuk mengeringkan suatu material menggunakan panas matahari (*solar energy*) dimana material tidak terpapar langsung sinar matahari. Energi solar merupakan salah satu energi yang dapat

diperbarui yang paling menjanjikan di dunia karena jumlahnya melimpah, tidak akan habis, dan tidak mengotori alam dengan biaya yang murah dan tanpa bahan bakar fosil. (Basunai dan Abe, 2001). Oleh karena itu, sekarang ini, energi solar mulai banyak digunakan untuk pengeringan karena lebih murah dan ramah lingkungan.

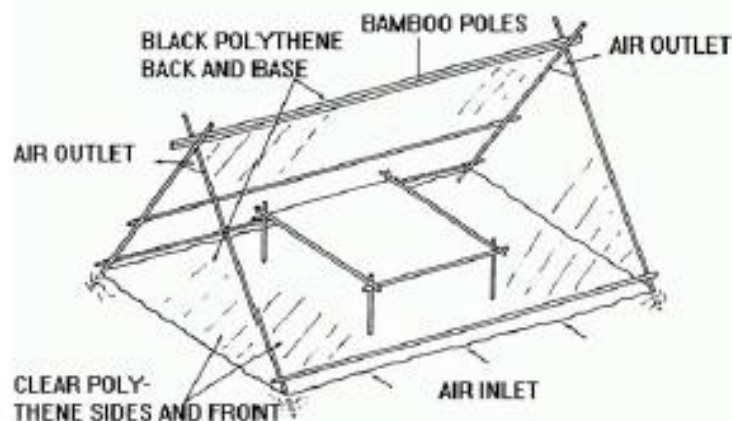
Ekechukwu (1987) mengklasifikasikan *solar dryer* menjadi 5 jenis, yaitu.

a. *Passive Solar Dryers*

Biasa disebut sistem penyebaran panas secara alami. Dapat berupa pemanasan secara langsung maupun tidak langsung

1. *Tent Dryer*

Dibandingkan dengan *open sun dryer*, *tent dryer* dapat menghemat waktu pengeringan hingga 25%. Kekurangannya adalah mudah rusak oleh angin yang kuat.

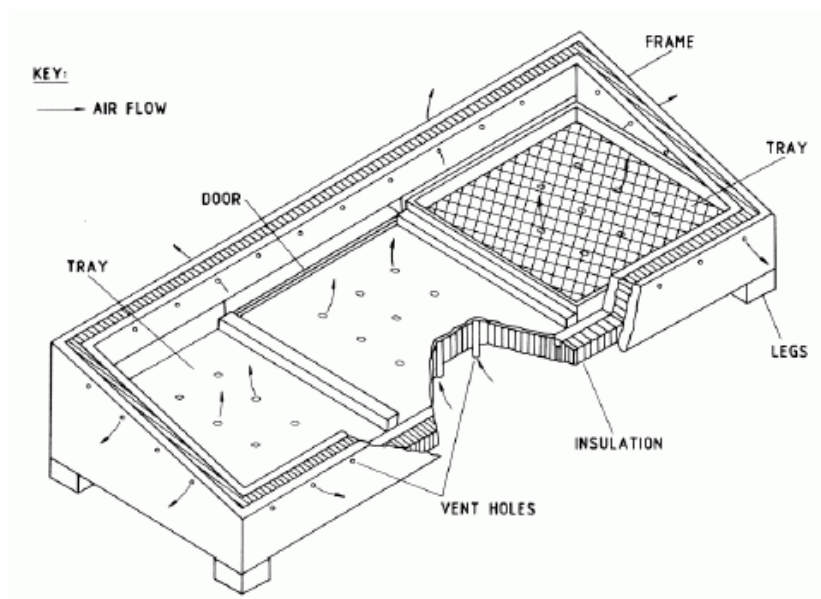


Gambar 2.1 Konsep *Tent Dryer*

Sumber : Ekechukwu, 1999

2. *Box Dryer*

Dibandingkan dengan *tent dryer*, *box dryer* dapat menyimpan panas dengan suhu yang lebih tinggi, yaitu mencapai 80°C . Sehingga waktu pengeringannya juga dapat lebih cepat.

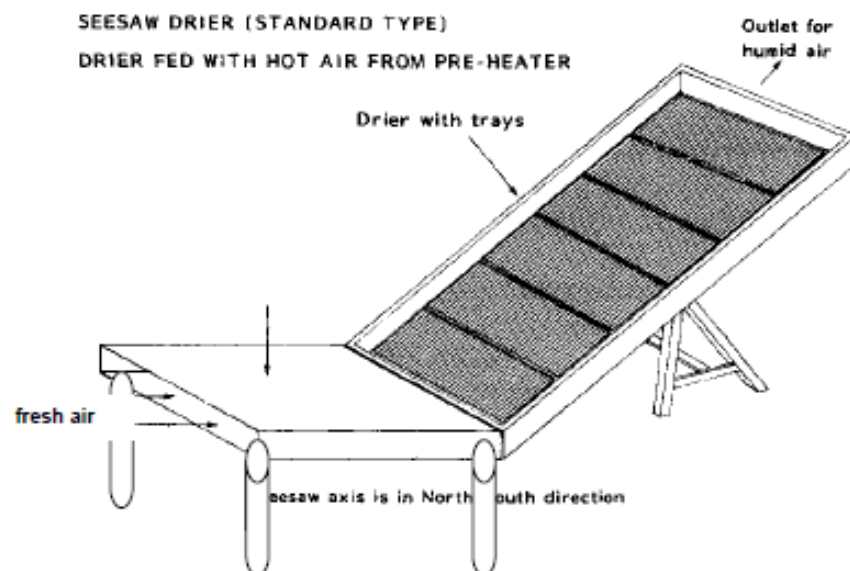


Gambar 2.2 Konsep *Box Dryer*

Sumber : Ekechukwu, 1999

3. *Seesaw Dryer*

Seesaw dryer mengaplikasikan efek rumah kaca dengan menggunakan plastik untuk menahan panas yang ditangkap oleh *collector* dan dialirkan oleh udara (pasif).



Gambar 2.3 Konsep *Seesaw Dryer*

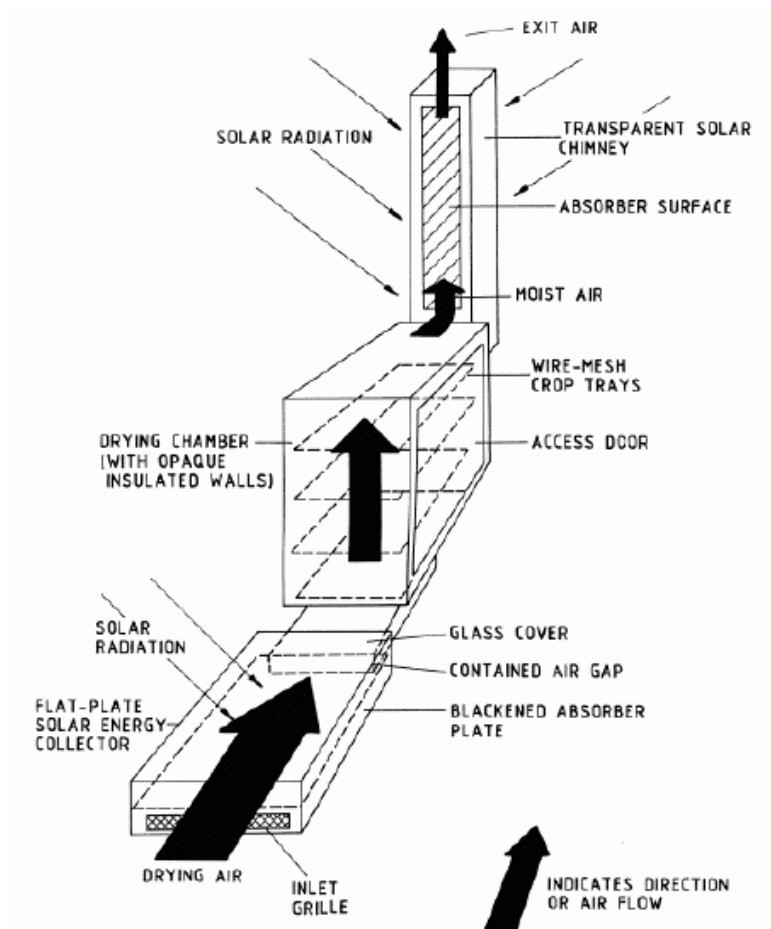
Sumber : Fabre dan Mihailov, 1985

commit to user

4. *Cabinet Solar Dryer*

Kelebihan dari *cabinet solar dryer* adalah bentuknya sederhana, panas dapat tersimpan dengan baik, biaya tenaga kerja murah karena tidak membutuhkan proses yang sulit. Selain itu, bahan makanan lebih sehat karena tidak terpapar sinar matahari langsung yang dapat menghilangkan vitamin dan warna asli.

Sedangkan kekurangan dari *cabinet solar dryer* adalah panas tidak merata di tiap rak sehingga kematangan juga tidak sama. Oleh karena itu, dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengeringkan bahan makanan yang berada di rak dengan panas yang rendah. Dapat dikatakan efisiensi *cabinet solar dryer* ini masih kurang.



Gambar 2.4 Konsep *Cabinet Solar Dryer*

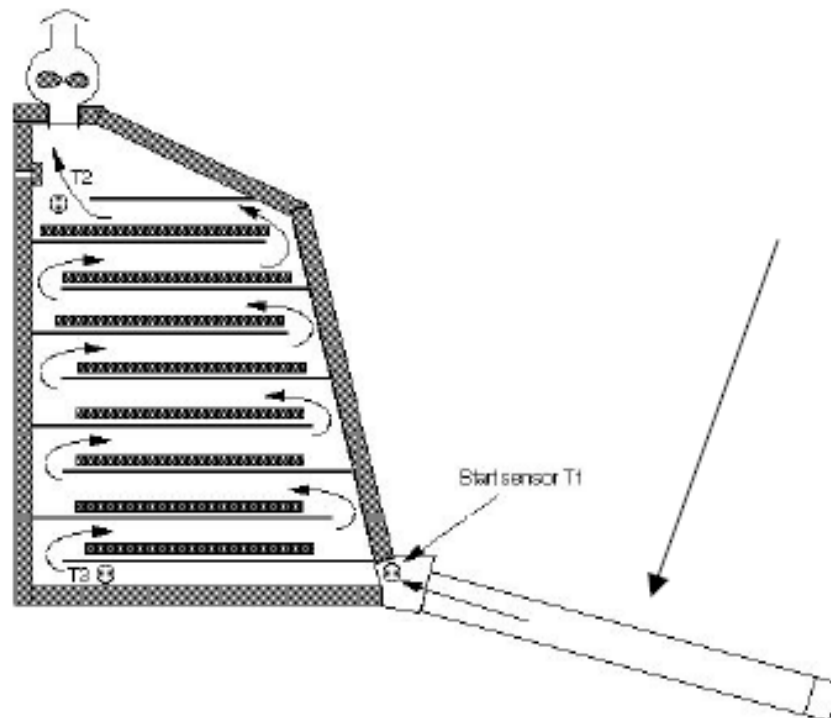
Sumber : Ekechukwu, 1999

b. *Active Solar Dryers*

Juga disebut sistem penyebaran panas yang disengaja atau secara hibrid. *Active solar dryer* lebih efektif dibandingkan *passive solar dryer* karena suhu dan kelembaban dapat diatur sehingga tidak terlalu bergantung dengan kondisi lingkungan. Penggunaan alat bantu untuk penyebaran panas ini dapat mengefisiensi waktu pengeringan hingga tiga kali lipat dan dapat mengurangi kebutuhan area *collector* sebesar 50%. Oleh karena itu, dengan menggunakan area *collector* yang sama dan waktu yang sama, *active solar dryer* dapat menghasilkan pengeringan 6 kali lebih banyak dibandingkan dengan *passive solar dryer*. [19]

1. *Active Ventilated Cabinet Solar Dryer*

Temperatur yang tepat dapat dicapai dengan mengatur kecepatan kipas angin untuk menyebarkan panas agar merata. Penggunaan listrik sebenarnya lebih murah dibandingkan penggunaan *electronic controller*.

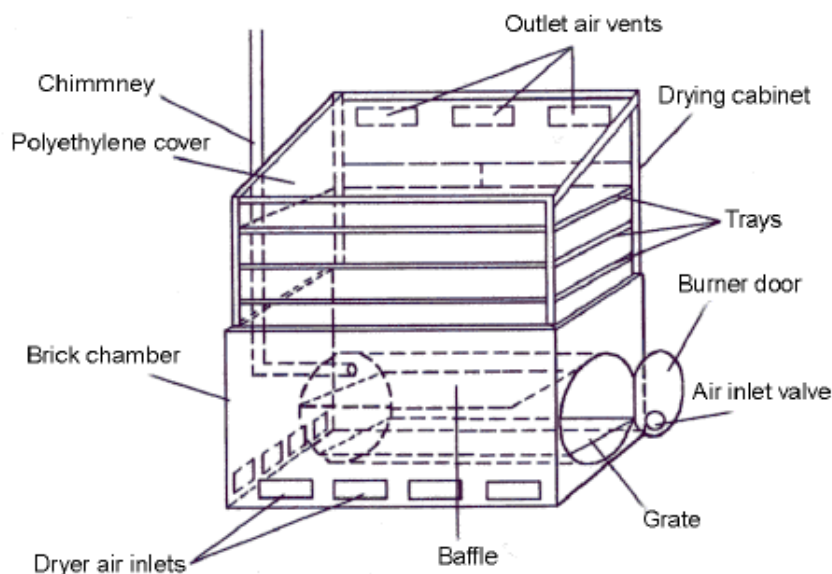


Gambar 2.5 Konsep *Active Ventilated Cabinet Solar Dryer*
Sumber : Ekechukwu, 1999

commit to user

2. Cabinet Dryer with Back up Heating

Salah satu kelemahan *solar dryer* adalah pada saat cuaca buruk, dimana tidak ada sinar matahari yang dapat ditangkap untuk digunakan dalam pengeringan. Sehingga dibutuhkan tenaga tambahan yang digunakan saat keadaan ini terjadi. Untuk kepentingan komersial, hal ini sangatlah dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pasar. Biomassa yang digunakan biasanya adalah kayu bakar. Namun, jika terlalu lama digunakan, penebangan kayu dapat berdampak buruk bagi lingkungan. Sehingga untuk penanggulangannya harus dilakukan penanaman kembali atau yang biasa disebut reboisasi.



Gambar 2.6 Konsep *Cabinet Dryer with Back up Heating*
Sumber : Bena dan Fuller, 2002

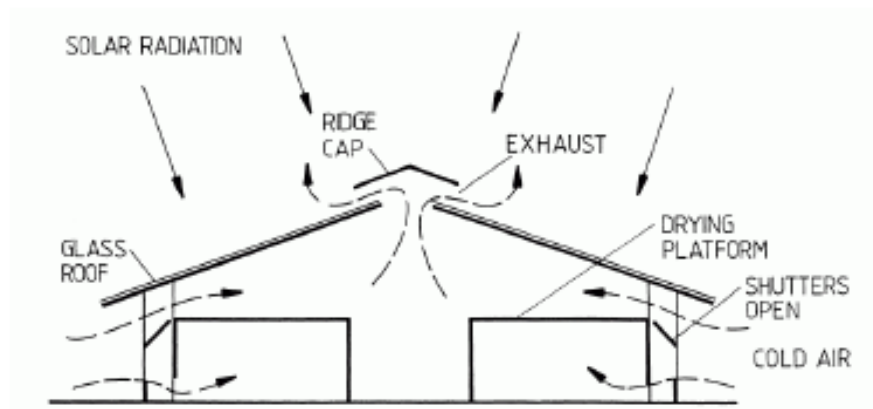
c. Greenhouse Dryers

Ide *greenhouse dryer* adalah untuk menggantikan fungsi *collector* pada *solar dryer*, yaitu dengan menggunakan bahan transparan untuk atapnya dan dipasang secara permanen dengan rangka besi.

1. Natural Convection Greenhouse Dryer

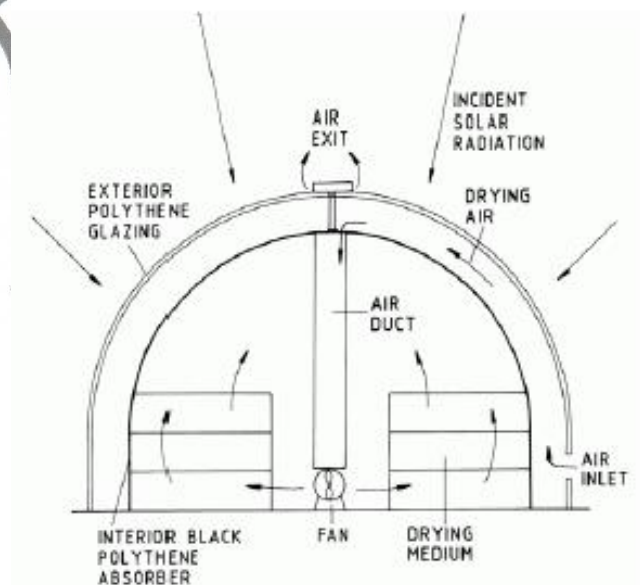
Karena atapnya biasanya hanya terbuat dari kaca, *fibre glass*, atau plastik, kelebihan dari *natural convection greenhouse dryer* adalah biaya yang murah dalam pembangunan maupun pengoperasiannya.

Sementara, kekurangannya adalah rentan pada angin berkecepatan tinggi.



Gambar 2.7 Konsep *Natural Convection Greenhouse Dryer*
Sumber : Ekechukwu, 1999

2. *Greenhouse Dryer with Forced Ventilation*



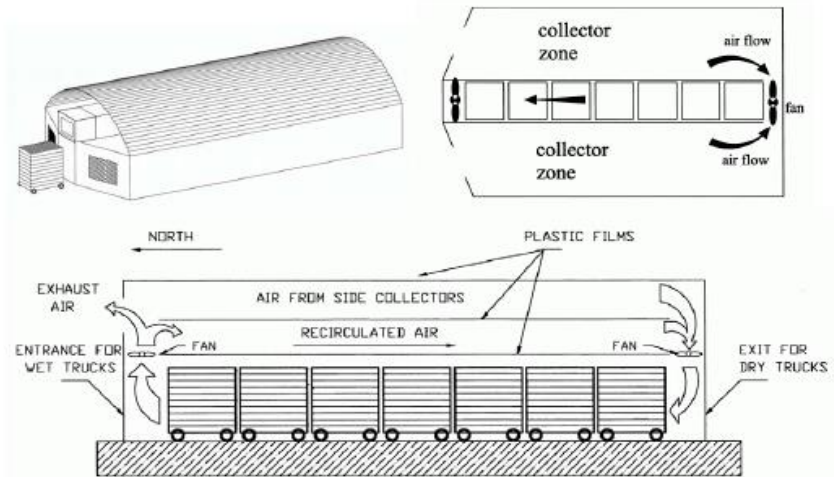
Gambar 2.8 Konsep *Greenhouse Dryer with Forced Ventilation*
Sumber : Ekechukwu, 1999

3. *Continuous Production Greenhouse Drying*

Kelebihan utama dari *greenhouse drying* ini adalah:

- Pengeringan terjadi secara terus menerus sehingga energi panas yang ada tidak terbuang.
- Biaya tenaga kerja lebih murah jika penanganan produk dilakukan secara mekanis.

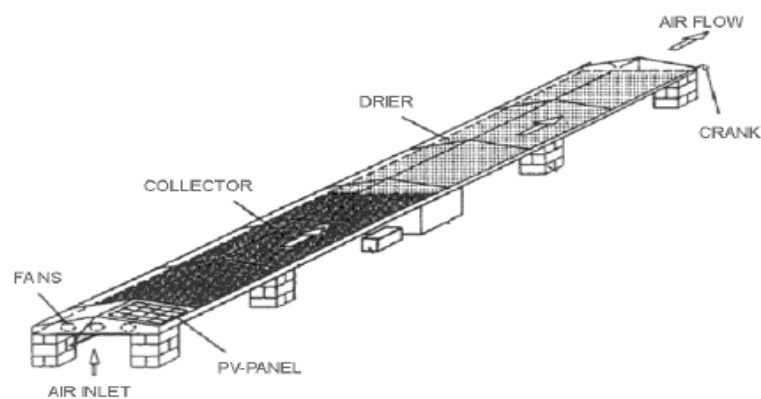
- Pemanas konvensional dapat dengan mudah ditambahkan jika menginginkan kecepatan produksi yang stabil.
- Penggunaan energi yang lebih rendah dibandingkan alat pengering jenis lainnya.
- Dapat digunakan sebagai *greenhouse* biasa untuk produksi berskala kecil jika tidak menggunakan *dryer*.



Gambar 2.9 Konsep *Continuous Production Greenhouse Drying*
Sumber : Condori, Echazu, dan Saravia, 2001

d. *Tunnel Dryers*

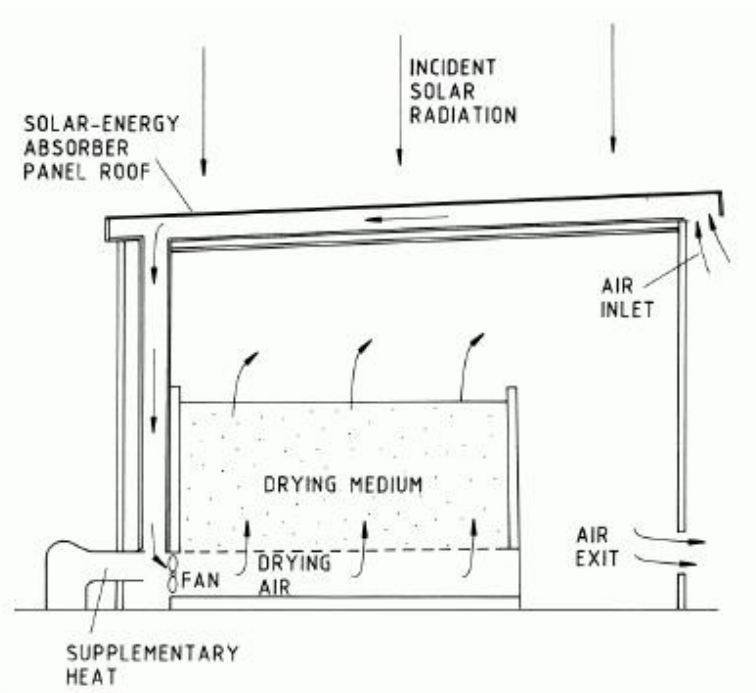
Komponen utama dari *solar tunnel dryer* adalah *solar collector*, ruang tempat pengeringan bahan, dan sistem aliran udara, dimana aliran udara membutuhkan inlet dan outlet udara serta kipas angin untuk menyebarkan udara. Komponen-komponen tersebut dipasang memanjang membentuk jembatan (*tunnel*).



Gambar 2.10 Konsep *Tunnel Dryer*
Sumber : Ekechukwu, 1999

e. *In-House Dryers*

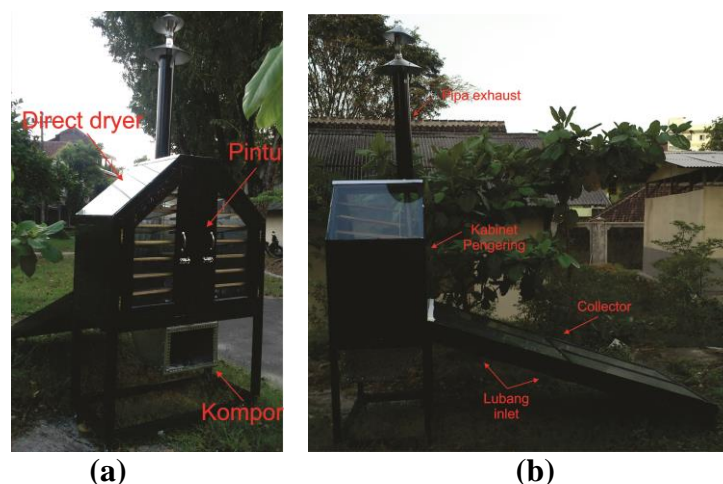
Cara kerja *in-house dryer* mirip dengan *active indirect solar cabinet dryer*. Yang membedakan adalah ukurannya yang lebih besar dan atap pada *in-house dryer* menggunakan *solar collector*.



Gambar 2.11 Konsep *In-House Dryer*

Sumber : Ekechukwu, 1999

Sementara, *solar dryer* yang dibahas dalam penelitian kali ini adalah desain *solar dryer* yang dikembangkan oleh Agassi (2014).



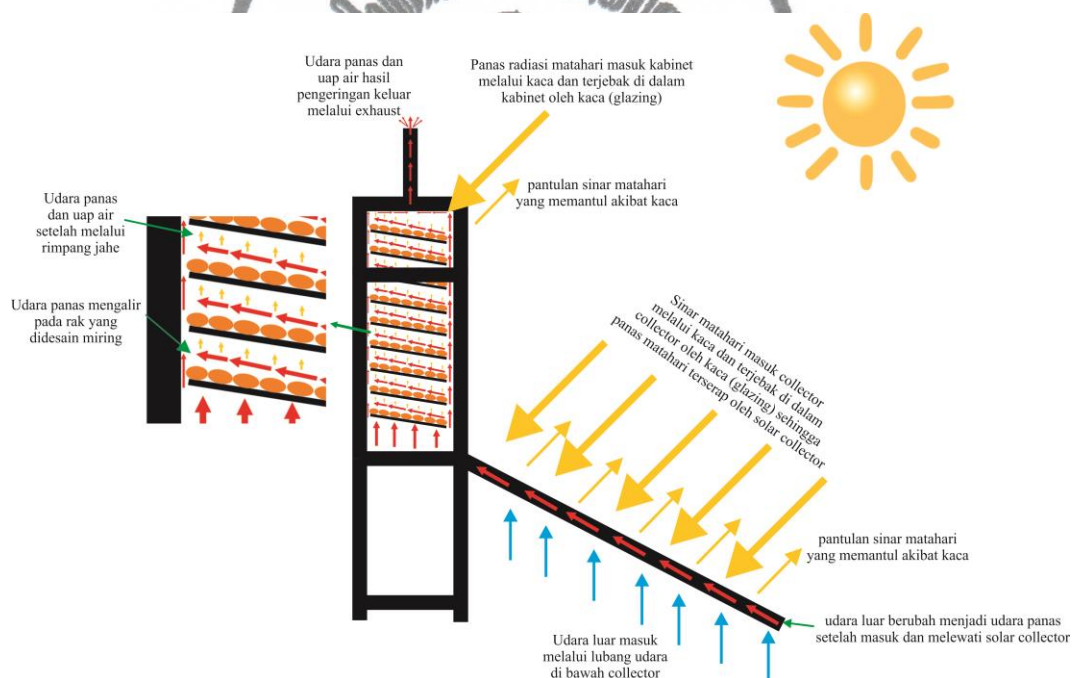
Gambar 2.12 Alat Pengering Simplisia Menggunakan Sumber Panas Sinar Matahari dengan *Backup* Panas Kompor Biomassa

(a) Tampak depan (b) Tampak samping

Sumber : Agassi, 2014

commit to user

Terdapat dua mekanisme pemanasan yang dirancang saat menggunakan sumber energi panas matahari, yaitu mekanisme langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*). Kerja mekanisme pemanasan secara langsung (*direct*) yaitu panas matahari masuk melalui kaca ke dalam kabinet pengering dan terperangkap sehingga menyebabkan kabinet pengering menjadi panas. Sementara, kerja mekanisme pemanas secara tidak langsung ialah panas matahari yang diserap oleh material pengumpul panas (*collector*) berubah menjadi udara panas. Udara panas tersebut kemudian dialirkan oleh udara dari luar yang masuk melalui celah ruang pengumpul panas ke kabinet pengering. Mekanisme kerja alat yang dirancang adalah kombinasi dari kedua mekanisme pemanasan tersebut (*direct* dan *indirect*), seperti yang ditampilkan pada gambar 2.13.

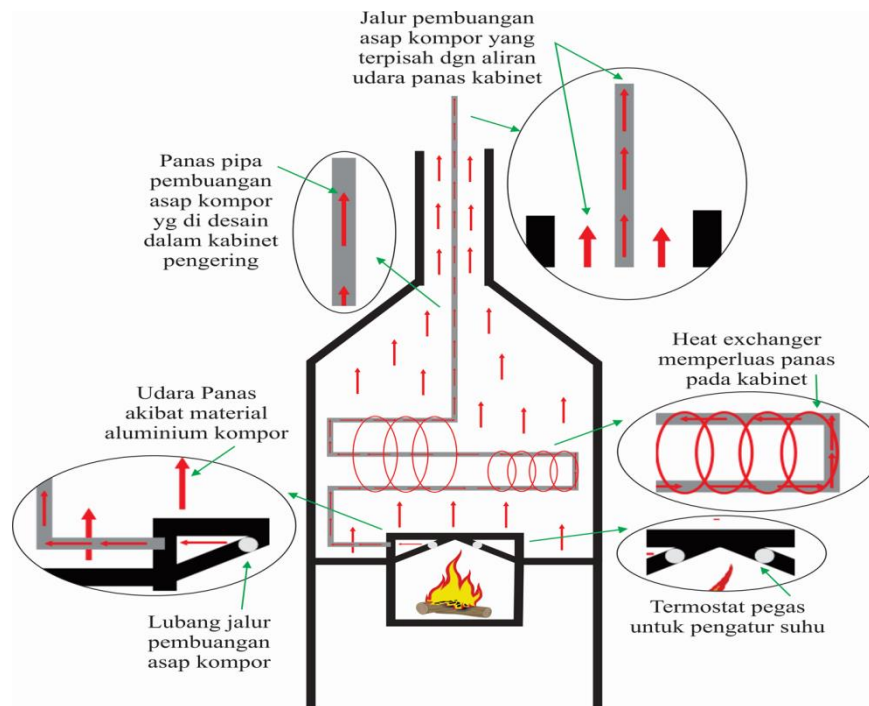


Gambar 2.13 Mekanisme *Solar Dryer*

Sumber : Agassi, 2014

Selain menggunakan energi panas matahari sebagai energi utama pemanas kabinet pengering, rancangan alat pengering dilengkapi dengan kompor biomassa sebagai energi cadangan (*backup energy*). Hal ini dimaksudkan jika intensitas panas matahari kurang (hujan, mendung, atau malam hari), proses pengeringan masih bisa dilakukan. Bahan bakar kompor biomassa merupakan material yang terdapat di sekitar pengguna, seperti sekam padi, kayu bakar, atau arang. Mekanisme kompor biomassa memanfaatkan pipa pembuangan asap sebagai pengalir panas ke kabinet pengering. Pipa pembuangan asap didesain berliku

mengalir di bagian belakang kabinet pengering dengan tujuan agar panas pada pipa dapat tersebar merata pada kabinet pengering. Selain itu, pada pipa pembuangan asap juga ditambah dengan *heat exchanger*, yang berfungsi menambah panas yang dihasilkan dengan memperluas permukaan. Mekanisme kerja kompor biomassa ditampilkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Mekanisme Kompor Biomassa

Sumber : Agassi, 2014

2.4 KAJIAN FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PROSES PENGERINGAN

Untuk mengkaji alat pengering simplisia menggunakan panas sinar matahari dengan *backup* kompor biomassa yang telah dibuat, perlu dilakukan eksperimen sehingga dapat diketahui kemampuan dari alat tersebut. Namun sebelum pelaksanaannya, eksperimen harus dirancang agar tujuan dalam pengkajian dapat tercapai. Eksperimen ini dirancang dengan mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Terdapat tiga faktor yang digunakan dalam eksperimen ini. Faktor pertama adalah sumber panas. Keputusan untuk menjadikan sumber panas sebagai salah satu faktor karena diduga terdapat perbedaan respon dari sumber panas yang berbeda. Selain itu, penelitian mengenai perbedaan penggunaan sistem pengering

dengan sumber panas yang berbeda juga pernah dilakukan oleh Kassem, dkk (2006). Dalam penelitian tersebut, sistem-sistem pengering yang digunakan adalah *solar drying*, *sun drying* (sebagai pengering alami) dan oven (sebagai pengering buatan). Sementara, pada alat pengering simplisia menggunakan panas sinar matahari dengan *backup* kompor biomassa, sumber panas yang akan dibandingkan adalah panas matahari, kompor biomassa dan kombinasi keduanya.

Faktor kedua dalam eksperimen ini adalah waktu pengeringan. Sebagaimana diketahui, pengeringan membutuhkan waktu yang lama. Namun, jika terlalu lama, simplisia yang dihasilkan juga tidak memenuhi kualitas. Oleh karena itu, perlu ditemukan waktu yang optimal untuk mengeringkan simplisia.

Dalam mengamati waktu pengeringan, Susilo dan Okaryanti (2012) pernah melakukan penelitian pada mesin pengering hibrida untuk mengeringkan *chips Mocaf (Modified Cassava Flour)* hasil fermentasi dengan ketebalan 1–1.5 mm selama 9 jam mulai dari pukul 09.00 WIB sampai pukul 18.00 WIB dengan sebaran suhu 33,2⁰C sampai 34,2⁰C. Kemudian, setiap satu jam diukur suhu dan kelembaban pada mesin tersebut.

Namun, waktu pengeringan juga tidak lepas dari posisi simplisia dalam rak pengeringan. Hal ini terjadi karena memungkinkan adanya perbedaan suhu antara posisi rak bagian atas dan posisi rak bagian bawah. Oleh karena itu, posisi rak juga menjadi faktor dalam eksperimen ini.

Sementara itu, kadar air dari simplisia merupakan respon yang akan diukur, dimana kadar air ini secara langsung dipengaruhi oleh suhu, kelembaban dan kecepatan angin. Hal ini sama seperti yang dilakukan oleh Yuwana dan Silvia (2012) dalam pengamatannya mengenai suhu, kelembaban dan kadar air, serta Rocha dkk (2011) yang mengamati kecepatan angin. Suhu, kelembaban dan kecepatan angin sebenarnya juga dapat disebut sebagai faktor, yaitu faktor yang tidak dapat dikontrol (*uncontrolable variable*). Namun, faktor-faktor tersebut juga dipengaruhi oleh sumber panas, waktu pengeringan dan posisi rak. Sehingga, suhu, kelembaban dan kecepatan angin lebih tepat disebut sebagai respon antara.

2.5 DESAIN EKPERIMEN

Desain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang terdefiniskan) sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang dihadapi dapat dikumpulkan. dengan kata lain, desain eksperimen merupakan hal-hal yang harus dilakukan untuk merencanakan kegiatan yang akan dilakukan dalam pengambilan data secara eksperimen. Desain eksperimen dilakukan untuk mendapatkan informasi semaksimal mungkin dalam melakukan penelitian mengenai masalah yang diangkat. Namun, desain eksperimen seharusnya dibuat sesederhana mungkin, tujuannya agar menghemat waktu, biaya, tenaga, dan material yang digunakan tetapi tetap harus dapat dianalisis.

Beberapa keuntungan perancangan eksperimen diantaranya:

- a. Berguna untuk mengidentifikasi variabel keputusan yang tidak hanya menjaga agar proses tetap terkontrol, namun juga meningkatkan proses tersebut.
- b. Dalam mengembangkan proses-proses baru di mana data historis tidak tersedia, desain eksperimental dapat mengidentifikasi faktor-faktor penting dan level-levelnya yang akan memaksimalkan hasil dan mengurangi biaya.

Dalam desain eksperimen, terdapat beberapa terminologi yang harus diketahui.

- a. *Experimental unit*, yaitu obyek eksperimen
- b. *Universe*, yaitu kumpulan seluruh experimental unit yg mungkin
- c. Variabel respon (*effect*), yaitu output yg diukur atau biasa disebut dependent variabel, variabel output, kriteria, atau ukuran performansi.
- d. *Factors (Causes)*, yaitu input yang nilainya diubah-ubah dalam eksperimen atau disebut juga independent variabel atau variabel input.
- e. *Level*, yaitu nilai-nilai untuk faktor yang diuji dalam eksperimen.
- f. *Treatment* (perlakuan), yaitu kombinasi level-level dari seluruh faktor yang ingin diuji dalam eksperimen.
- g. Replikasi adalah banyaknya pengulangan percobaan untuk treatment yang sama.

commit to user

- h. Populasi adalah kumpulan semua nilai untuk variabel respon yang diukur dari seluruh anggota *universe*.
- i. *Restriction* (variabel control) adalah factor-faktor yang mungkin ikut mempengaruhi variabel respon tetapi tidak ingin diuji pengaruhnya oleh experimenter.
- j. *Randomization* adalah cara pengacakan unit-unit eksperimen untuk dialokasikan pada eksperimen.

Berikut langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam membuat desain eksperimen.

- a. Pernyataan mengenai masalah atau persoalan yang dibahas.
- b. Perumusan hipotesis.
- c. Penentuan teknik dan desain eksperimen yang diperlukan.
- d. Pemeriksaan semua hasil yang mungkin dan latar belakang atau alasan-alasan supaya eksperimen setepat mungkin memberikan informasi yang diperlukan.
- e. Mempertimbangkan semua hasil yang mungkin ditinjau dari prosedur statistika yang diharapkan berlaku untuk itu, dalam rangka menjamin dipenuhinya syarat-syarat yang diperlukan dalam prosedur tersebut.
- f. Melakukan eksperimen.
- g. Penggunaan teknik statistika terhadap data hasil eksperimen.
- h. Mengambil kesimpulan dengan jalan menggunakan atau memperhitungkan derajat kepercayaan yang wajar mengenai satuan-satuan yang dinilai.
- i. Penilaian seluruh penelitian, dibandingkan dengan penelitian lain mengenai masalah yang sama.

Beberapa metode eksperimen yang dapat digunakan (Hicks, 1995).

- a. *Single-Factor Experiment with No Restrictions on Randomization*

Single-Factor Experiments with No Restrictions on Randomization atau *Completely Randomized Design* merupakan metode eksperimen yang paling sederhana. Sesuai dengan namanya, *single-factor* berarti hanya ada satu faktor (satu variabel bebas) yang ingin diteliti dalam suatu percobaan. Sementara, *no-restrictions* berarti tidak ada faktor lain yang dimasukkan dalam eksperimen.

Dalam metode ini, seluruh urutan pengambilan dalam seksperimen dilakukan secara acak (*random*). Model matematika dari *completely randomized design* adalah.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots \text{persamaan 2.4}$$

Dimana,

Y_{ij} : nilai respon

μ : rataan untuk seluruh eksperimen,

τ_j : variansi yang terjadi karena level,

ε_{ij} : nilai *error* selama eksperimen berlangsung.

b. *Single-Factor Experiment : Randomized Block Design*

Randomized block design merupakan metode eksperimen yang menggunakan satu faktor (sebagai *independent variable*) dan melibatkan satu faktor lain (sebagai *restriction block*) yang dianggap mempengaruhi hasil dari eksperimen. Urutan pengujian di dalam blok ditentukan secara acak (*random*). Model matematika dari *randomized block design* adalah.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \dots\dots\dots \text{persamaan 2.5}$$

Dimana,

Y_{ij} : nilai respon ke-i dalam level,

μ : rataan untuk seluruh eksperimen,

τ_i : variansi yang terjadi karena level,

β_j : variansi yang terjadi karena blok,

ε_{ij} : nilai *error* selama eksperimen berlangsung.

c. *Single-Factor Experiment : Latin Square Design*

Latin square design hampir sama dengan *randomized block design* dimana eksperimen hanya menggunakan satu faktor sebagai *independent variable* yang diteliti, yang membedakan adalah dalam *latin square design* dilibatkan dua faktor lain sebagai *restriction block*. Model matematika yang digunakan adalah.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk} \dots\dots\dots \text{persamaan 2.6}$$

commit to user

Dimana,

- Y_{ij} : nilai respon
 μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,
 τ_i : variansi yang terjadi karena level,
 β_j : variansi yang terjadi karena blok 1,
 γ_k : variansi yang terjadi karena blok 2,
 ε_{ij} : nilai *error* selama eksperimen berlangsung.

d. *Factorial Experiment*

Factorial experiment merupakan suatu desain eksperimen dimana seluruh level dari suatu faktor dikombinasikan dengan seluruh level dari faktor-faktor lainnya. Oleh karena itu, dalam *factorial experiment* terdapat lebih dari satu faktor atau minimal 2 faktor. Model matematika untuk *factorial experiment* adalah.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_{ij} + \varepsilon_{k(ij)} \dots \dots \dots \text{persamaan 2.7}$$

Dimana,

- Y_{ijk} : nilai respon
 μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,
 τ_{ij} : variansi yang terjadi karena tiap *treatment*,
 ε_{ij} : nilai *error* pada masing-masing *treatment*.

e. *Nested Experiment*

Nested experiment adalah percobaan dengan dua faktor dimana salah satu faktor tersarang (*nested*) pada faktor lainnya. Kadang-kadang *nested experiment* disebut juga sebagai *hierarchical experiment*. Model matematika dari *nested experiment* adalah.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{k(ij)} \dots \dots \dots \text{persamaan 2.8}$$

Dimana,

- Y_{ij} : nilai respon
 μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,
 τ_i : variansi yang terjadi karena level pada faktor 1,

commit to user

$\beta_{j(i)}$: variansi yang terjadi karena level pada faktor 2 yang bersarang pada faktor 1,

ε_{ij} : nilai *error* pada masing-masing *treatment*.

f. *Nested-Factorial Experiment*

Nested-factorial experiment sama dengan *nested experiment* dimana terdapat faktor yang bersarang pada faktor lainnya. Bedanya, *nested-factorial* menggunakan dua faktor yang tersarang pada faktor lainnya. Model matematika *nested-factorial experiment* adalah.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_{j(i)} + \tau\beta_{ij} + \gamma_{k(j)} + \tau\gamma_{ik(j)} + \varepsilon_{m(ijk)} \dots \text{persamaan 2.9}$$

Dimana,

Y_{ijk} : nilai respon

μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,

τ_i : variansi yang terjadi karena level pada faktor 1,

$\beta_{j(i)}$: variansi yang terjadi karena level pada faktor 2 yang bersarang pada faktor 1,

$\tau\beta_{ij}$: variansi yang terjadi karena interaksi dari faktor 1 dan faktor 2,

$\gamma_{k(j)}$: variansi yang terjadi karena level pada faktor 3 yang bersarang pada faktor 2,

$\tau\gamma_{ik(j)}$: variansi yang terjadi karena interaksi dari faktor 1 dan faktor 3,

ε_{ij} : nilai *error* selama eksperimen berlangsung.

g. *Split-Plot Design*

Split-plot design digunakan bila yang akan diteliti adalah dua faktor, namun tingkat ketelitian kedua faktor tersebut tidak sama.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + \tau_j + R\tau_{ij} + \beta_k + R\beta_{ik} + \tau\beta_{jk} + R\tau\beta_{ijk} \dots \text{persamaan 2.10}$$

Dengan,

Y_{ijk} : nilai respon,

μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,

R_i : replikasi,

τ_j : variansi yang terjadi karena level pada faktor 1,

Commit to user

$R\tau_{ij}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi dan level pada faktor 1,

β_k : variansi yang terjadi karena level pada faktor 2,

$R\beta_{ik}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi dan level pada faktor 2,

$\tau\beta_{jk}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara level pada faktor 1 dan level pada faktor 2

$R\tau\beta_{ijk}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi, level pada faktor 1 dan level pada faktor 2,

h. *Split-Split-Plot Design*

Split-split-plot design digunakan bila yang akan diteliti adalah tiga faktor, namun tingkat ketelitian ketiga faktor tersebut tidak sama. *Split-split-plot design* termasuk dalam kelompok rancangan faktorial, sehingga selain dapat mengetahui pengaruh setiap faktor yang diteliti, juga dapat diketahui pengaruh interaksi dari setiap faktor.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + \tau_j + R\tau_{ij} + \beta_k + R\beta_{ik} + \tau\beta_{jk} + R\tau\beta_{ijk} + \gamma_m + R\gamma_{im} + \tau\gamma_{jm} + R\tau\gamma_{ijm} + \beta\gamma_{km} + R\beta\gamma_{ikm} + \tau\beta\gamma_{jkm} \dots \text{persamaan 2.11}$$

Dengan,

Y_{ijk} : nilai respon,

μ : rata-rata untuk seluruh eksperimen,

R_i : replikasi,

τ_j : variansi yang terjadi karena level pada faktor 1,

$R\tau_{ij}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi dan level pada faktor 1,

β_k : variansi yang terjadi karena level pada faktor 2,

$R\beta_{ik}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi dan level pada faktor 2,

$\tau\beta_{jk}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara level pada faktor 1 dan level pada faktor 2

commit to user

- $R\tau\beta_{ijk}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi, level pada faktor 1 dan level pada faktor 2,
 γ_m : variansi yang terjadi karena level pada faktor 3,
 $R\gamma_{im}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi dan level pada faktor 3,
 $\tau\gamma_{jm}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara level pada faktor 1 dan level pada faktor 3,
 $R\tau\gamma_{ijm}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi, level pada faktor 1 dan level pada faktor 3,
 $\beta\gamma_{km}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara level pada faktor 2 dan level pada faktor 3,
 $R\beta\gamma_{ikm}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara replikasi, level pada faktor 2 dan level pada faktor 3,
 $\tau\beta\gamma_{jkm}$: variansi yang terjadi karena interaksi antara level pada faktor 1, level pada faktor 2 dan level pada faktor 3.

Dalam merancang suatu percobaan, harus ditentukan faktor-faktor yang mungkin akan berpengaruh terhadap respon. Misalkan terdapat dua faktor, yaitu faktor A dan faktor B, dimana faktor A (baris) memiliki jumlah level sebanyak a sementara faktor B (kolom) memiliki jumlah level sebanyak b. Percobaan dilakukan dengan perlakuan pengulangan atau yang biasa disebut replikasi sebanyak n kali. Jika hasil percobaan disajikan dalam bentuk tabel, maka akan terdapat a x b sel yang setiap selnya berisi n pengulangan. Misalkan, Y_{ijk} menyatakan pengamatan ke-k yang diambil pada perlakuan ke-i dari faktor Baris, dan perlakuan ke-j dari faktor Kolom. Seluruh data pengamatan disusun seperti tabel 2.3.

Keseluruhan data dapat diwakili dalam sebuah model penelitian, seperti yang terlihat pada persamaan 2.9. persamaan tersebut merupakan persamaan umum untuk eksperimen faktorial dengan 3 faktor. Dari persamaan tersebut dapat diketahui pengaruh faktor-faktor utama dan juga pengaruh dari interaksi antar faktor utama dengan menggunakan uji ANOVA 3-ways.

commit to user

Tabel 2.3 Data Eksperimen

Faktor A	Faktor B	Faktor C			
		1	2	...	c
1	1	Y_{111}	Y_{112}	...	Y_{11c}
	2	Y_{121}	Y_{122}	...	Y_{12c}

	b	Y_{1b1}	Y_{1b2}	...	Y_{1bc}
2	1	Y_{211}	Y_{212}	...	Y_{21c}
	2	Y_{221}	Y_{222}	...	Y_{22c}

	b	Y_{2b1}	Y_{2b2}	...	Y_{2bc}
...
a	1	Y_{a11}	Y_{a12}	...	Y_{a1c}
	2	Y_{a21}	Y_{a22}	...	Y_{a2c}

	b	Y_{ab1}	Y_{ab2}	...	Y_{abc}

Setiap pengamatan dapat dituliskan dalam bentuk :

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijk} \dots \text{persamaan 2.12}$$

untuk $i=1,2,\dots,a$, $j=1,2,\dots,b$, dan $k=1,2,\dots,c$

dengan,

Y_{ijk} : pengamatan perlakuan ke-i faktor baris dan perlakuan ke-j faktor kolom

μ : rata-rata umum

A_i : pengaruh faktor A perlakuan ke-i

B_j : pengaruh faktor B perlakuan ke-j

C_k : pengaruh faktor C perlakuan ke-k

AB_{ij} : pengaruh interaksi antara faktor A perlakuan ke-i dengan faktor B perlakuan ke-j

AC_{ik} : pengaruh interaksi antara faktor A perlakuan ke-i dengan faktor C perlakuan ke-k

commit to user

- BC_{jk} : pengaruh interaksi antara faktor B perlakuan ke-j dengan faktor kolom perlakuan ke-j
- ABC_{ijk} : pengaruh interaksi antara faktor A perlakuan ke-i dengan faktor B perlakuan ke-j dengan faktor C perlakuan ke-k
- ε_{ij} : *error random* dari pengamatan pada blok ke-i yang mendapat perlakuan ke-j.

Hipotesis yang akan diuji :

- a. pengujian pengaruh (efek) utama
 1. $H_0 : A_1 = A_2 = \dots = A_a = 0$ (tidak ada pengaruh faktor A)
 H_1 : tidak semua A sama dengan nol (ada pengaruh faktor A)
 2. $H_0 : B_1 = B_2 = \dots = B_b = 0$ (tidak ada pengaruh faktor B)
 H_1 : tidak semua B_j sama dengan nol (ada pengaruh faktor B)
 3. $H_0 : C_1 = C_2 = \dots = C_c = 0$ (tidak ada pengaruh faktor C)
 H_1 : tidak semua C_k sama dengan nol (ada pengaruh faktor C)
- b. pengujian interaksi
 1. $H_0 : AB_{11} = AB_{12} = \dots = AB_{ab} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi)
 H_1 : tidak semua AB_{ij} sama dengan nol (ada pengaruh interaksi)
 2. $H_0 : AC_{11} = AC_{12} = \dots = AC_{ac} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi)
 H_1 : tidak semua AC_{ik} sama dengan nol (ada pengaruh interaksi)
 3. $H_0 : BC_{11} = BC_{12} = \dots = BC_{bc} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi)
 H_1 : tidak semua BC_{jk} sama dengan nol (ada pengaruh interaksi)
 4. $H_0 : ABC_{111} = ABC_{112} = \dots = ABC_{abc} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi)
 H_1 : tidak semua ABC_{ijk} sama dengan nol (ada pengaruh interaksi)

Pengujian hipotesis dilakukan dengan membuat tabel seperti di bawah ini.

Tabel 2.4 Analisis Variansi

Source	Degree of Freedom (df)	Sum Square (SS)	Mean Sum Square (MS)	F hitung
Faktor A _i	a-1	SS _A	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_{hitung} = \frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B _j	b-1	SS _B	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_{hitung} = \frac{MS_B}{MS_E}$
AxB Interaction	(a-1)(b-1)	SS _{AXB}	$MS_{AXB} = \frac{SS_{AXB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_{hitung} = \frac{MS_{AXB}}{MS_E}$
Faktor C _k	c-1	SS _C	$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$	$F_{hitung} = \frac{MS_C}{MS_E}$
AxC Interaction	(a-1)(c-1)	SS _{AXC}	$MS_{AXC} = \frac{SS_{AXC}}{(a-1)(c-1)}$	$F_{hitung} = \frac{MS_{AXC}}{MS_E}$
BxC Interaction	(b-1)(c-1)	SS _{BXC}	$MS_{BXC} = \frac{SS_{BXC}}{(b-1)(c-1)}$	$F_{hitung} = \frac{MS_{BXC}}{MS_E}$
AXBxC Interaction	(a-1)(b-1)(c-1)	SS _{AXBXC}	$MS_{AXBXC} = \frac{SS_{AXBXC}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_{hitung} = \frac{MS_{AXBXC}}{MS_E}$
Error (ε _{k(ij)})	Total - Treatment	SS _E	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	
Total	a.b.c.n - 1	SS _T		

$$SS_T \text{ (Sum Square Total)} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijk}^2 - \frac{T_{..2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.13}$$

$$SS_A \text{ (Sum Square Faktor A)} = \frac{\sum_{i=1}^a T_{i..2}}{b.n} - \frac{T_{...2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.14}$$

$$SS_B \text{ (Sum Square Faktor B)} = \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j.2}}{b.n} - \frac{T_{...2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.15}$$

$$SS_C \text{ (Sum Square Faktor B)} = \frac{\sum_{k=1}^c T_{..k2}}{c.n} - \frac{T_{...2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.16}$$

$$SS_{AXB} \text{ (Sum Square AxB)} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij.2}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i..2}}{b.c.n} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j.2}}{a.c.n} + \frac{T_{...2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.17}$$

$$SS_{AXC} \text{ (Sum Square AxC)} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c T_{ik.2}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i..2}}{b.c.n} - \frac{\sum_{k=1}^c T_{..k2}}{a.b.n} + \frac{T_{...2}}{a.b.c.n} \dots \text{persamaan 2.18}$$

$$SS_{B \times C} (\text{Sum Square } B \times C) = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c T_{.jk}^2}{n} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j.}^2}{b.c.n} - \frac{\sum_{k=1}^c T_{..k}^2}{a.b.n} + \frac{T_{...}^2}{a.b.c.n} \quad \text{.....persamaan 2.19}$$

$$SS_{B \times C} (\text{Sum Square } A \times B \times C) = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c T_{ijk}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^a T_{i..}^2}{b.c.n} - \frac{\sum_{j=1}^b T_{.j.}^2}{b.c.n} - \frac{\sum_{k=1}^c T_{..k}^2}{a.b.n} + \frac{T_{...}^2}{a.b.c.n} \quad \text{.....persamaan 2.20}$$

$$SS_E (\text{Sum Square Error}) = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{A \times B} - SS_{A \times C} - SS_{B \times C} - SS_{A \times B \times C} \quad \text{.....persamaan 2.21}$$

dengan,

- a : level faktor A, $i = 1, 2, 3, \dots, a$
- b : level faktor B, $j = 1, 2, 3, \dots, b$
- c : level faktor C, $k = 1, 2, 3, \dots, c$
- n : banyak replikasi, $l = 1, 2, 3, \dots, n$
- Y_{ijk} : data pada baris ke-i, kolom ke-j, dan replikasi ke-k
- $T_{i..}$: Total baris ke-i
- $T_{.j.}$: Total kolom ke-j
- $T_{..k}$: Total kolom ke-k
- $T_{ij.}$: Total sel (i,j,-)
- $T_{i.-}$: Total sel (i,-,k)
- $T_{.jk}$: Total sel (-,j,k)
- $T_{...}$: Total keseluruhan pengamatan

2.6 STATISTIK INFERENSIA

Statistik inferensia adalah semua metode statistik yang berhubungan dengan analisis sebagian data untuk kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan mengenai populasinya.

2.6.1 Statistik Parametrik

Ada dua hal penting dalam statistik inferensia parametrik, yaitu pendugaan parameter dan pengujian hipotesis.

a. Pendugaan Parameter

Pendugaan adalah metode statistik yang digunakan untuk memperoleh sebuah nilai dugaan yang menggambarkan karakteristik umum suatu populasi dalam bentuk rentang dua buah nilai. Misalnya, suatu contoh acak memiliki suatu selang yang berada diantara nilai θ_1 dan θ_2 ($\theta_1 < \theta < \theta_2$), dimana θ adalah parameter dari suatu populasi. Pendugaan dibedakan menjadi :

1. Pendugaan nilai tengah
2. Pendugaan beda dua nilai tengah populasi
3. Pendugaan proporsi
4. Pendugaan selisih dua proporsi
5. Pendugaan ragam
6. Pendugaan rasio dua ragam

b. Uji Hipotesis Statistik

Hipotesis statistik adalah anggapan atau pernyataan, yang mungkin benar atau tidak, mengenai satu atau lebih populasi. Kebenaran suatu hipotesis dapat diketahui dengan pasti dengan memeriksa seluruh populasi. Namun, hal tersebut akan sulit dilakukan jika jumlah populasi sangat besar. Oleh karena itu, pengujian hipotesis dapat dilakukan untuk mengambil kesimpulan dari suatu populasi tanpa memeriksa seluruh populasi. Langkah-langkah pengujian hipotesis mengenai parameter populasi θ lawan suatu hipotesis alternatifnya adalah sebagai berikut:

1. Nyatakan hipotesis nol-nya (H_0) bahwa $\theta = \theta_0$
2. Pilih hipotesis alternatif atau H_1 yang sesuai diantara $\theta < \theta_0$, $\theta > \theta_0$ atau $\theta \neq \theta_0$.
3. Tentukan taraf keberartiannya (α untuk uji dwisisi atau $\alpha/2$ untuk uji ekasisi).
4. Pilih statistik uji (uji z, t, χ^2 , F) yang sesuai dan kemudian tentukan wilayah kritisnya.
5. Hitung nilai statistik uji berdasarkan data contohnya.

commit to user

6. Tentukan kesimpulannya. Tolak H_0 bila nilai statistik uji tersebut jatuh dalam wilayah kritisnya, sedangkan bila nilai H_0 jatuh diluar wilayah kritis maka terimalah H_0 .

Berikut ini merupakan beberapa metode uji statistik parametrik yang dapat digunakan dalam pengujian hipotesis, yaitu:

1. Uji z

Uji z digunakan bila jumlah sampel yang diambil cukup besar dan variansi populasi diketahui. Sebenarnya, tidak ada ketentuan yang tepat batas besar kecilnya suatu sampel. Namun, sebagai sebuah pedoman, jumlah sampel di atas atau sama dengan 30 ($n \geq 30$) sudah bisa dianggap sebagai sampel besar, sedangkan di bawahnya dianggap sampel kecil.

2. Uji t

Jika sampel kecil ($n < 30$) dan varians populasi tidak diketahui, metode parametrik yang digunakan adalah uji t (student).

3. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analisis variansi adalah prosedur untuk menganalisis variansi dari respon atau perlakuan dan menerapkan porsi variansi ini pada setiap kelompok dari variabel independent. Metode ini membandingkan secara simultan beberapa variabel sehingga bisa memperkecil kemungkinan kesalahan. Analisis variansi juga memiliki keunggulan dalam hal kemampuan untuk membandingkan antar variabel dan juga antar pengulangan. Metode analisis yang hanya menggunakan satu variabel perbandingan ini disebut dengan analisis variansi satu arah (*one-way ANOVA*). Sedangkan, metode analisis dengan menggunakan perbandingan baik dari masing-masing perlakuan maupun dari masing-masing pengulangan ini disebut dengan analisis varians dua arah (*two-way ANOVA*).

Langkah-langkah Uji ANOVA adalah sebagai berikut.

- a) Merumuskan hipotesis
- b) Menentukan level signifikansi
- c) Menentukan jenis uji statistik (Uji F satu faktor/Oneway ANOVA atau uji F dua faktor/Twoway ANOVA)

- d) Menentukan aturan pengambilan keputusan
 - H_0 diterima jika F hitung lebih kecil dari F tabel
 - H_0 ditolak jika F hitung lebih besar dari F tabel
- e) Menghitung nilai F hitung

2.6.2 Statistik Nonparametrik

Perbedaan utama uji nonparametrik dengan uji parametrik, yakni uji nonparametrik tidak membutuhkan asumsi tentang pola distribusi populasi. Dalam pengambilan sampel uji nonparametrik ada dua syarat yang harus terpenuhi, yakni:

- a. Observasi sampel harus independent dan random.
- b. Variabel harus kontinu.

Prosedur nonparametrik digunakan jika hipotesis yang harus diuji tidak melibatkan suatu parameter populasi dan data telah diukur dengan skala yang lebih lemah dibanding yang disyaratkan oleh prosedur parametrik atau bisa juga pada saat asumsi yang diperlukan pada prosedur parametrik tidak terpenuhi. Karena seringkali asumsi bahwa distribusi populasi itu normal seringkali tidak bisa diperiksa atau terdapat keraguan untuk menggunakan suatu metode karena sebaran populasinya mungkin sangat menjulur.

Ada beberapa keunggulan dan kelebihan dari uji nonparametrik, antara lain:

- a. Kebanyakan prosedur nonparametrik memerlukan asumsi dalam jumlah minimum.
- b. Untuk beberapa prosedur nonparametrik, perhitungan dapat dilaksanakan dengan cepat dan mudah.
- c. Konsep dan metode prosedur nonparametrik mudah dipahami .
- d. Prosedur nonparametrik boleh diterapkan bila data telah diukur menggunakan skala pengukuran yang lemah, sebagaimana bila hanya data hitung atau data peringkat yang tersedia untuk analisis.
- e. Prosedur nonparametrik dapat menggunakan data kuantitatif maupun kualitatif.

Namun demikian, uji nonparametrik juga punya beberapa kelemahan, antara lain:

commit to user

- a. Karena perhitungan yang dibutuhkan untuk prosedur nonparametrik cepat dan sederhana, prosedur kadang-kadang digunakan untuk kasus yang lebih tepat bila ditangani dengan prosedur parametrik. Cara seperti ini menyebabkan pemborosan informasi
- b. Perhitungannya membutuhkan banyak tenaga serta menjemukan

Berikut ini merupakan beberapa metode uji statistik nonparametrik yang dapat digunakan, yaitu:

a. Uji Tanda

Metode yang paling mudah dan cepat dalam uji nonparametrik adalah uji tanda. Statistik uji bagi uji tanda adalah peubah acak X yang menyatakan banyaknya tanda plus dalam contoh n acak kita. Bila hipotesis nol bahwa $\mu = \mu_0$ benar, peluang bahwa suatu nilai contoh menghasilkan tanda plus atau minus adalah sama dengan $\frac{1}{2}$. Akibatnya, statistik uji x mempunyai memiliki sebaran peluang binom dengan parameter $p = \frac{1}{2}$ bila H_0 benar, dan dari sini kita dapat menghitung taraf uji bagi hipotesis alternatif yang satu arah maupun dua arah.

Uji tanda untuk pengujian $\mu = \mu_0$ berdasarkan contoh acak dari satu populasi juga dapat digunakan bila n pasang pengamatan diambil dari dua populasi yang kontinu. Untuk menguji hipotesis nol H_0 bahwa $\mu_1 = \mu_2$ atau $\mu_D = 0$, kita tinggal mengganti setiap selisih d_i dengan tanda plus atau minus bergantung pada apakah d_i positif atau negatif dan kemudian dilanjutkan seperti sebelumnya. Kita juga dapat menggunakan uji tanda untuk menguji hipotesis nol $\mu_1 - \mu_2 = d_0$ bagi pengamatan yang berpasangan. Untuk ini setiap d_i kita kurangi dengan d_0 dan hasilnya diganti dengan tanda plus atau minus bergantung pada apakah hasil pengurangan itu positif atau negatif. Dalam pasal ini kita selalu mengasumsikan bahwa populasi setangkup. Berikut adalah cara perhitungan menggunakan uji tanda.

1. Tentukan hipotesis awal ($\mu = \mu_0$) dan hipotesis tandingannya ($\mu < \mu_0$ atau $\mu > \mu_0$ atau $\mu \neq \mu_0$).
2. Beri tanda + (*plus*) untuk nilai pengamatan yang lebih besar dari μ_0 , dan beri tanda - (*minus*). Hapuslah data pengamatan yang nilainya sama dengan μ_0 .

commit to user

3. Tentukan wilayah kritisnya dengan menghitung jumlah tanda + (*plus*).

a) Jika jumlah tanda + = tanda –, maka populasi setangkup

b) Jika jumlah tanda + < tanda –, wilayah kritisnya adalah.

$$P = P(x \leq x, P = p_0) \quad \text{.....persamaan 2.22}$$

c) Jika jumlah tanda + > tanda –, wilayah kritisnya adalah.

$$P = P(x \geq x, P = p_0) \quad \text{.....persamaan 2.23}$$

4. Hitung peluang dari nilai tersebut menggunakan peluang binomial.

5. Bandingkan hasil perhitungan peluang dengan wilayah kritisnya.

Jika peluang masuk ke dalam wilayah kritis, maka tolak H_0 . Jika peluang berada di luar wilayah kritis, maka terima H_0 .

6. Ambil kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

b. Uji Range Tanda atau Peringkat Bertanda Wilcoxon

Uji tanda memanfaatkan hanya tanda-tanda plus dan minus yang diperoleh dan selisih antara pengamatan dan μ_0 dalam kasus satu-contoh, atau tanda plus dan minus yang diperoleh dan selisih antara pasangan pengamatan dalam kasus contoh berpasangan, tetapi tidak memperhitungkan besarnya selisih-selisih tersebut. Sebuah uji yang memanfaatkan baik arah maupun besar arah itu diajukan pada tahun 1945 oleh Frank Wilcoxon, dan sekarang uji ini dikenal sebagai uji peringkat-bertanda Wilcoxon. Untuk menguji hipotesis bahwa $\mu = \mu_0$ atau $\mu_1 = \mu_2$ bagi dua populasi setangkup yang kontinu. Berikut adalah cara perhitungan menggunakan uji range tanda.

1. Tentukan hipotesis awal ($\mu = \mu_0$) dan hipotesis tandingannya ($\mu < \mu_0$ atau $\mu > \mu_0$ atau $\mu \neq \mu_0$).

2. Hitung selisih nilai pengamatan (x_i) dengan μ_0 .

3. Buanglah nilai pengamatan (x_i) yang selisihnya nol (0) sehingga jumlah pengamatan akan berkurang.

4. Berikan peringkat pada setiap nilai mutlak dari selisih tersebut dari peringkat ke-1 hingga peringkat ke-n pengamatan.

commit to user

5. Bila terdapat nilai yang sama pada lebih dari 1 nilai, berikan setiap nilai tersebut rata-rata dari peringkatnya. Misalnya, terdapat dua nilai sebesar 10 pada peringkat ke 4 dan 5. Maka, peringkat dari kedua nilai tersebut adalah $\frac{4+5}{2} = 4,5$.
6. Jumlahkan peringkat dari setiap nilai yang bertanda positif (+) yang diwakili dengan W_+ , sementara jumlah peringkat nilai yang bertanda negatif (-) diwakili W_- . Kemudian tentukan W hitung, yaitu nilai terkecil diantara nilai W_+ dan W_- .
7. Tentukan wilayah kritisnya dengan melihat tabel statistik ($W \leq w$), dimana n adalah jumlah pengamatan setelah adanya penghapusan data dan α adalah taraf keberartian.
8. Bandingkan nilai W hitung dengan wilayah kritisnya. Jika W hitung masuk ke dalam wilayah kritis, maka tolak H_0 . Jika W hitung berada di luar wilayah kritis, maka terima H_0 .
9. Ambil kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

c. Uji Jumlah Range atau Jumlah Peringkat Wilcoxon

Uji Jumlah peringkat Wilcoxon adalah uji untuk membandingkan nilai tengah dua populasi bukan normal yang kontinu, bila dua contoh yang bebas diambil dari kedua populasi itu. Berikut adalah cara perhitungan menggunakan uji jumlah range.

1. Tentukan hipotesis awal ($\mu_1 = \mu_2$) dan hipotesis tandinggannya ($\mu_1 < \mu_2$ atau $\mu_1 > \mu_2$ atau $\mu_1 \neq \mu_2$).
2. Tentukan N_1 sebagai sampel kecil dan N_2 sebagai sampel yang lebih besar.
3. Gabungkan data pengamatan dari kedua sampel tersebut.
4. Berikan peringkat pada nilai-nilai tersebut. Peringkat ke-1 untuk nilai terkecil, dan peringkat ke- (N_1+N_2) untuk nilai terbesar.
5. Bila terdapat nilai yang sama pada lebih dari 1 nilai, berikan setiap nilai tersebut rata-rata dari peringkatnya. Misalnya, terdapat dua nilai sebesar 10 pada peringkat ke 4 dan 5. Maka, peringkat dari kedua nilai tersebut adalah $\frac{4+5}{2} = 4,5$.

6. Jumlahkan peringkat sesuai dengan kelompok sampelnya, dimana jumlah peringkat untuk sampel kecil diwakilkan W_1 . Sementara itu, jumlah peringkat untuk sampel yang lebih besar diwakilkan dengan W_2 . Dimana,

$$W_1 + W_2 = \frac{(N_1+N_2)(N_1+N_2+1)}{2} \quad \text{.....persamaan 2.24}$$

7. Hitung nilai U untuk masing-masing sampel dengan cara berikut.

$$u_i = w_i - \frac{ni(ni+1)}{2}, \text{ dengan } i = 1 \text{ atau } 2 \quad \text{.....persamaan 2.25}$$

8. Tentukan wilayah kritisnya dengan melihat tabel statistik ($U \leq \chi^2_\alpha$), dimana α adalah taraf keberartian.
9. Bandingkan nilai U hitung yang terkecil dengan wilayah kritisnya. Jika U hitung masuk ke dalam wilayah kritis, maka tolak H_0 . Jika U hitung berada di luar wilayah kritis, maka terima H_0 .
10. Ambil kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

d. Uji *Kruskal-Wallis*

Uji *Kruskal-Wallis* adalah rampatan uji jumlah peringkat Wilcoxon untuk jumlah sampel lebih dari 2 ($k > 2$). Uji ini digunakan untuk menguji hipotesis nol H_0 bahwa k sampel bebas berasal dari populasi yang sama. pengujian ini diperkenalkan oleh W. H. Kruskal dan W. A. Wallis. Uji ini merupakan padanan cara nonparametrik untuk menguji kesamaan rata-rata dalam analisis variansi ekafaktor jika peneliti ingin menghindari anggapan bahwa sampel berasal dari populasi normal. Berikut adalah cara perhitungan menggunakan uji *Kruskal-Wallis*.

1. Tentukan hipotesis awal ($\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$) dan hipotesis tandingannya ($\mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_i$).
2. Tentukan N_i sebagai sampel ke-i.
3. Gabungkan data pengamatan dari seluruh sampel tersebut.
4. Berikan peringkat pada nilai-nilai tersebut. Peringkat ke-1 untuk nilai terkecil, dan peringkat ke- $(N_1+N_2+\dots+N_i)$ untuk nilai terbesar.
5. Bila terdapat nilai yang sama pada lebih dari 1 nilai, berikan setiap nilai tersebut rata-rata dari peringkatnya. Misalnya, terdapat dua nilai

commit to user

sebesar 10 pada peringkat ke 4 dan 5. Maka, peringkat dari kedua nilai tersebut adalah $\frac{4+5}{2} = 4,5$.

6. Jumlahkan peringkat (r_i) sesuai dengan kelompok sampelnya.

7. Hitung nilai h dengan cara berikut.

$$h = \frac{12}{n(n+1)} \sum \frac{r_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad \text{.....persamaan 2.26}$$

8. Tentukan wilayah kritisnya dengan melihat tabel statistik ($h > \chi^2_\alpha$), dimana α adalah taraf keberartian dan v adalah derajat kebebasan dengan nilai $N_{\text{total}} - 1$.

9. Bandingkan nilai h hitung dengan wilayah kritisnya. Jika h hitung masuk ke dalam wilayah kritis, maka tolak H_0 . Jika h hitung berada di luar wilayah kritis, maka terima H_0 .

10. Ambil kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

e. Uji Runtunan

Dalam konsep statistik, selalu diasumsikan bahwa datanya diperoleh melalui suatu proses pengacakan. Uji runtunan digunakan untuk mengetahui bagaimana data pengamatan itu diperoleh, apakah pengamatan telah diambil secara acak atau tidak. Runtunan adalah suatu barisan bagian yang terdiri dari satu atau lebih lambang yang sama yang menyatakan sifat tertentu data tersebut. Tidak peduli apakah pengamatan kita kuantitatif atau kualitatif, uji runtunan membagi data itu menjadi dua penggolongan yang tidak berpotongan. Misalnya, pria atau wanita; cacat atau tidak cacat; gambar atau angka; di atas atau di bawah rata-rata; dan lain sebagainya. Dengan demikian, barisan hasil percobaannya hanya terdiri atas dua lambang. Uji runtunan untuk memeriksa keacakan didasarkan pada banyaknya runtunan total dalam hasil percobaan. Berikut adalah cara perhitungan menggunakan uji runtunan.

1. Tentukan hipotesis awal (pengambilan data dilakukan secara acak) dan hipotesis tandingannya (pengambilan data tidak dilakukan secara acak).
2. Tentukan jumlah runtunan pada data pengamatan (V).

3. Tentukan jumlah sampel tiap jenis data dimana N_1 sebagai sampel kecil dan N_2 sebagai sampel yang lebih besar.
4. Tentukan taraf keberartiannya (α).
5. Hitung peluangnya dengan cara berikut.

$$P = P(V \leq v, \text{ bila } H_0 \text{ benar}) \quad \dots\dots\dots \text{persamaan 2.27}$$
6. Bandingkan nilai peluangnya dengan taraf keberartian (α).
 Jika $P < \alpha$, maka tolak H_0 . Sementara, jika $P > \alpha$, maka terima H_0 .
7. Ambil kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

2.7 Pengujian Korelasi

Korelasi merupakan ukuran kekuatan hubungan antar 2 peubah melalui sebuah bilangan (Walpole, 1995). Hubungan antara dua variabel tidak hanya terjadi karena kebetulan saja, namun juga karena hubungan sebab akibat. Dua variabel dikatakan memiliki korelasi apabila perubahan pada variabel yang satu akan diikuti perubahan pada variabel lainnya secara beriringan, baik dengan arah yang sama maupun berlawanan. Contohnya, jika ada 2 buah variabel, yaitu variabel A dan variabel B. Jika variabel A nilainya berubah, variabel B juga akan berubah dengan selisih atau perbandingan yang sama. Maka variabel A dan variabel B dapat dikatakan berkorelasi.

Arah hubungan antara dua variabel (*direction of correlation*) dapat dibedakan menjadi 3, yaitu.

a. *Direct Correlation* atau *Positive Correlation*

Perubahan pada salah satu variabel akan diikuti oleh perubahan variabel yang lain dengan selisih atau rasio dan arah atau gerakan yang sama. Ketika nilai variabel x naik, nilai variabel y juga akan naik dan sebaliknya, jika nilai variabel x turun, nilai variabel y juga akan turun.

b. *Inverse Correlation* atau *Negative Correlation*

Perubahan pada salah satu variabel akan diikuti oleh perubahan variabel yang lain dengan selisih atau rasio yang sama, namun dengan arah atau gerakan yang berlawanan. Ketika nilai variabel x naik, nilai variabel y akan turun dan sebaliknya, jika nilai variabel x turun, nilai variabel y akan naik.

commit to user

c. Korelasi Nihil atau Tidak Berkorelasi

Perubahan pada salah satu variabel kadang akan diikuti oleh perubahan variabel yang lain, kadang tidak. Kenaikan nilai variabel yang satu kadang-kadang disertai turunnya nilai variabel yang lain atau kadang-kadang diikuti naiknya nilai variabel yang lain. Arah hubungannya tidak teratur, kadang-kadang dengan arah yang sama kadang-kadang berlawanan. Dengan kata lain, kedua variabel tersebut tidak memiliki pola.

Ukuran kekuatan hubungan antara dua peubah disebut koefisien korelasi. Koefisien korelasi, dapat dinyatakan dengan bilangan, nilainya antara 0 sampai +1 atau 0 sampai -1. Nilai 0 sampai +1 berarti *direct correlation* atau *positive correlation*, sementara nilai 0 sampai -1 berarti *inverse correlation* atau *negative correlation* dan nilai 0 berarti tidak ada korelasi atau korelasi nihil.

Koefisien korelasi linear merupakan ukuran hubungan linear antara dua peubah acak x dan y dan dapat mengukur sejauh mana titik-titik menggerombol mengikuti sebuah garis lurus, dan dilambangkan dengan r. Bila titik-titik menggerombol mengikuti sebuah garis lurus dengan kemiringan positif, maka ada korelasi positif yang tinggi antara kedua peubah tersebut. Akan tetapi, bila titik-titik menggerombol mengikuti sebuah garis lurus dengan kemiringan negatif, maka antara kedua peubah itu terdapat korelasi negatif yang tinggi. Korelasi antara kedua peubah semakin menurun secara numerik dengan semakin memencarnya atau menjauhnya titik-titik dari suatu garis lurus. Bila titik-titik memiliki pola yang acak, atau dengan kata lain tidak ada pola, maka dapat dikatakan korelasi nol, atau disimpulkan tidak ada hubungan antar linier antar x dan y. Jika nilai $r = 0$, kedua variabel tidak memiliki hubungan linier, namun bukan berarti antara kedua peubah itu tidak terdapat hubungan. Kedua peubah tersebut bisa saja memiliki pola lain.

Koefisien korelasi dapat dihitung dengan beberapa metode, yaitu.

a. *Least Squares*

Jumlah kuadrat dari deviasi vertikal dari nilai y dengan garis regresi adalah hanya merupakan suatu ukuran terhadap *goodness of fit*.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2$$

.....persamaan 2.28

Bila perbedaan antara nilai yang sebenarnya (y) dan nilai yang diperkirakan (y') kecil, maka jumlah kuadratnya juga kecil begitu juga sebaliknya. Besarnya ukuran ini tergantung pada unit-unit y , apakah unit itu dalam puluhan, satuan, atau ribuan. Oleh karena itu, terdapat ukuran-ukuran yang kurang memuaskan. Untuk menghilangkan kesukaran tersebut maka dalam mengukur goodness of fit dari garis regresi itu tidak hanya dengan $\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2$ saja, tapi dengan membandingkan jumlah tersebut dengan $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$, yaitu jumlah kuadrat nilai y dengan meannya (\bar{y}).

b. *Pearson Product Moment*

Ukuran korelasi linear antara dua peubah yang paling banyak digunakan adalah koefisien korelasi momen hasil kali Pearson atau biasa disebut koefisien korelasi contoh. Koefisien korelasi contoh adalah ukuran hubungan linier antara dua peubah x dan y dinyatakan dalam r , yaitu :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} = b \frac{S_x}{S_y} \dots \text{persamaan 2.29}$$

$$\text{dimana } JKG = (n-1) (S_y^2 - b^2 S_x^2)$$

Dengan membagi kedua sisi persamaan ini dengan $(n-1)S_y^2$ maka didapatkan hubungan :

$$r^2 = 1 - \frac{JKG}{(n-1)S_y^2} \dots \text{persamaan 2.30}$$

dan karena JKG dan S_y^2 keduanya tidak pernah negatif, maka kita simpulkan bahwa r^2 nilainya pasti antara nol dan 1. Akibatnya, r mungkin mengambil nilai dari -1 sampai +1. Nilai $r = -1$ akan terjadi, jika $JKG = 0$ dan semua titik contoh terletak tepat pada suatu garis lurus yang mempunyai kemiringan negatif. Bila semua titik contoh terletak pada satu garis lurus dengan kemiringan positif, maka $JKG = 0$ dan kita memperoleh $r = +1$. Jadi, hubungan linier sempurna terdapat antara nilai-nilai x dan y dalam contoh, bila $r = +1$ atau -1. Bila r mendekati +1

atau -1, hubungan antara kedua peubah itu kuat dan kita katakan bahwa terdapat korelasi yang tinggi antara keduanya. Akan tetapi, bila r mendekati 0, hubungan linier antara x dan y sangat lemah atau mungkin tidak ada sama sekali.

Di pihak lain, bila kita perhatikan r^2 , yang biasanya disebut koefisien determinasi contoh, maka kita mempunyai bilangan yang menyatakan proporsi keragaman total nilai-nilai peubah Y yang dapat dijelaskan oleh nilai-nilai peubah X melalui hubungan linier tersebut.

c. *Rank Correlation*

Ada kalanya kita ingin mengukur kuatnya hubungan antara dua variabel tidak berdasarkan pasangan data dimana nilai sebenarnya diketahui, tetapi berdasarkan urutannya. Kuatnya hubungan tersebut dinamakan *rank correlation coefficient*, dinyatakan dengan rumus :

$$r_s = 1 - \frac{6 \left(\sum_{i=1}^n d_i^2 \right)}{n(n^2 - 1)} \dots \dots \dots \text{persamaan 2.31}$$

dimana :

n = banyaknya pasangan data

d = selisih dari tiap pasangan rank