IPB
303.3
BEN
t/3

SINOPSIS

TEKNIK PENGAMBILAN CONTOH DAN ANALISIS DATA BIOFISIK SUMBERDAYA PESISIR

DR. IR. DIETRIECH G. BENGEN DEA

CENTER FOR INTERNATIONAL FORESTRY RESEARCH
CIFOR
1 6 JUL 2001
LIBRARY

IPB20030072

Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Institut Pertanian Bogor

KATA PENGANTAR

Informasi merupakan elemen ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat diperlukan dalam semua segi dan tingkat kehidupan. Pada salah satu bagian, informasi diwujudkan dalam satu seri karakter/variabel dan observasi yang membentuk data. Data ini menjadi bagian yang sangat penting dalam menjelaskan informasi yang terkandung di dalamnya.

Untuk dapat menggali informasi yang terkandung di dalam data, diperlukan suatu analisis data yang tepat. Analisis data antara lain dapat mengarahkan kita kepada suatu pencarian hubungan antara karakter/variabel dan atau pengukuran pengaruh dari satu atau beberapa karakter/variabel terhadap karakter/variabel lain.

Kenyataan menunjukkan bahwa seringkali kita harus mengambil informasi atau menarik kesimpulan dari data yang besar dan kompleks; padahal sebagian besar metode analisis data tidak mampu melampaui suatu refleksi teori, atau pendekatan yang lebih kualitatif terhadap masalah yang muncul dari data yang besar dan kompleks. Karena itu metode analisis statistik, khususnya multivariabel/multidimensi, merupakan suatu alat analisis data yang dapat digunakan untuk memenuhi keinginan tersebut di atas.

Dalam buku ini hanya disajikan ikhtisar dari beberapa teknik pengumpulan data (pengambilan contoh) dan analisis data, dengan lebih mengarahkan pada konsep dasar dan aplikasinya. Untuk mengetahui dan memahami lebih detil tentang teknik pengambilan contoh dan analisis data, penulis menyarankan untuk mempelajari sejumlah pustaka yang membahas tentang hal ini (atau dapat mengacu pada daftar pustaka yang disajikan dalam buku ini).

Bogor, Desember 2000

Penulis

FOREWORD

I recall my trepidation when I enrolled in my first undergraduate statistics course. The course was simply titled "Introduction to Statistics" and initially seemed easy enough. The mathematics involved was really not that difficult, and once you mastered the many strange symbols and annotations, I found the language of statistics was not too daunting. However, as the course progressed, I found myself spending more and more time trying to comprehend the logic of processing and interpreting the data I was given to analyze. It did not help at all that the examples we were given related to only marginally interesting subjects such as the height of children or the rolls of dice in a casino. By about the midway stage of the course, my grades, like my interest in the course, were slipping fast; I was in real danger of failing the course!

Then a somewhat remarkable transformation occurred. In one of the ecology subjects I was studying at the same time, we were asked to undertake some simple experiments. We measured variables related to the growth of plants in a greenhouse and hen had to quantitatively assess whether the different treatments we applied resulted in any significant differences (in size of the plants). At last, the relevance of statistics was patently obvious and their application became less of a chore and more like the keys to understanding the whole experiment.

In later subjects, especially in quantitative geography and social survey courses, I came to appreciate even more just how important the tools of statistics are. If one can not analyze the data we collect, even at a simple level, then what is the purpose of collecting the data in the first place? If, we can not prove to a judge that a given level of pollution is 95 or 99 percent likely to be the cause of injury or death to certain species, then why should the judge believe our professional opinions? Clearly competency in the use of statistics is a hallmark feature of our scientific professionalism.

In this very clearly presented and wide-raging synopsis, Dr Dietriech Bengen has "demystified" many aspects of statistical analysis for field ecologists. Dr Bengen is one of Indonesia's leading marine ecologists and a key advocate for more professionalism in science. In preparing this work, he has again demonstrated his commitment to building marine science capacity in Indonesia. We hope that all students, especially in member institutions of the Indonesian Coastal University Network (INCUNE), will find this work to be a key to your understanding and appropriate use of statistics.

We have been delighted to be able to support the preparation and development of this work as part of our commitment to the development of marine science in Indonesia. I commend it to you as a reference to study and apply, not only as a student, but also as a professional scientist once you graduate.

Dr Ian M. Dutton, MSc
Coastal Resources Center,University of Rhode Island

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

1. PENDAHULUAN

Teknik pengambilan contoh (*sampling techniques*) merupakan unsur utama dalam keabsahan (validitas) suatu studi, karena teknik pengambilan contoh yang digunakan akan mempengaruhi representasi suatu contoh yang dijadikan dasar dalam suatu analisis, yakni dalam rangka mendapatkan informasi maksimum untuk menjawab problematika yang diajukan. Oleh karena itu, aspek strategis suatu pengambilan contoh dalam rangka pengumpulan data, perlu didefinisikan dengan baik.

Teknik pengambilan contoh menjadi semakin penting dengan tersedianya metode analisis data yang semakin beragam. Jelaslah bahwa suatu pengambilan contoh dapat dilakukan dengan benar, jika kita mengetahui apa yang akan kita kerjakan dengan data yang akan diperoleh dan jika kita mengerti dengan baik seperti apa interaksi antara obyek yang dianalisis dan kegiatan analisis.

Sebelum sampai pada penentuan strategi pengambilan contoh, kita harus berangkat dari pemilihan tujuan yang ingin dicapai. Tujuan ini dapat bersifat teoritis (pengertian/pemahaman suatu sistem atau fungsi ekologis) atau praktis (pengelolaan suatu sumberdaya yang dapat pulih). Dengan munculnya tujuan yang ingin dicapai, kita akan mengarah kepada penentuan problematika: masalah-masalah apa yang akan timbul?, serta jawaban-jawaban seperti apa yang diharapkan?. Problematika ini akan menuntun kita kepada pemilihan:

a. Variabel-variabel biofisik yang akan dipelajari untuk dapat menjawab permasalahan yang diajukan;
b. Skala observasi dalam ruang dan waktu;
c. Metode-metode analisis data yang tepat.

Dalam pemilihan terhadap ketiga hal di atas perlu pula diperhatikan batasan-batasan berikut:

a. Batasan-batasan alami: berhubungan dengan keragaman skala yang dipilih;
b. Batasan-batasan teknik: kemampuan dan ketepatan alat yang digunakan, luasnya skala waktu dan ruang yang diperuntukkan dalam pengambilan contoh;
c. Batasan-batasan matematik: berkenaan dengan struktur dari data dan kualitasnya, yang jelas sangat penting dalam merealisasikan analisis yang dicanangkan.

Tujuan dan batasan di atas saling berhubungan satu sama lain. Suatu problematika tertentu menuntut suatu analisis data tertentu, yang menuntut pula suatu perencanaan pengambilan contoh tertentu. Oleh karena itu, strategi seorang perencana, peneliti atau pengelola adalah mencari suatu kompromi antara tujuan dan batasan. Hal ini sangat tergantung kepada epistemologi subyek yang diteliti.

Dalam tulisan ini, akan diupayakan memberikan suatu sintesis dari teknik pengambilan contoh dan analisis data biofisik. Pada bagian awal disajikan rancangan dan beberapa teknik pengambilan contoh, dan pada bagian yang terakhir disajikan kerangka metode analisis data biofisik.

2. RANCANGAN DAN TEKNIK PENGAMBILAN CONTOH

Sebagaimana telah dikemukakan dalam bab pendahuluan, bahwa penentuan strategi pengambilan contoh didasari sebelumnya oleh sejumlah pilihan yang menyangkut problematika yang diajukan dan cara pengajuannya.

Pengambilan contoh yang dibahas dalam tulisan ini merupakan bahan dasar yang diperlukan dalam perencanaan dan pengelolaan sumberdaya pesisir. Di dalamnya tercakup hal-hal yang berkaitan dengan kerangka pengambilan contoh, juga skala observasi dan/atau pemilahan obyek yang dipelajari.

Permasalahan awal yang sering ditemui adalah pemilihan variabel pengambilan contoh dan skala observasi. Pemilihan ini sebenarnya tergantung dari problematika yang diajukan. Namun seringkali refleksi awal terhadap problematika dilewati saja, dan cara kerja yang dipilih disesuaikan dengan kemungkinan-kemungkinan teknik yang tersedia atau suatu rutinitas. Kalaupun refleksi ini ada, tapi biasanya hanya sepintas saja, sehingga pada akhirnya kita terbentur pada interpretasi data yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Karena itu, suatu pengambilan contoh harus dibangun berdasarkan sejumlah pilihan, yang ditentukan oleh kategori jawaban yang harus ada, baik dalam analisis hasil maupun dalam kesimpulan yang ingin diperoleh.

2.1. Kerangka Pengambilan Contoh

Pengambilan contoh merupakan suatu proses memilih bagian yang mewakili suatu komponen biofisik (populasi statistik). Adapun tujuannya adalah untuk menarik kesimpulan atau menguraikan komponen biofisik (populasi statistik) yang sedang dipelajari. Dengan demikian, dalam suatu pengambilan contoh diperlukan informasi-informasi atau data lengkap mengenai komponen biofisik (populasi statistik) tersebut.

Jenis contoh yang diambil tergantung antara lain pada:

a. Keterangan yang telah ada tentang komponen biofisik (populasi statistik),

b. Rencana studi, dan

c. Tersedia serta lengkapnya kerangka pengambilan contoh.

Kerangka pengambilan contoh adalah daftar variabel-variabel dari komponen biofisik (populasi statistik) yang merupakan satuan pengambilan contoh yang representatif. Kerangka pengambilan contoh ini harus dibuat secara baik dan lengkap agar pengambilan contoh dapat dilakukan dengan benar.

Ekosistem pesisir merupakan suatu himpunan integral dari variabel-variabel abiotik (fisik-kimia) dan biotik (organisme hidup) yang berhubungan satu sama lain dan saling berinteraksi membentuk suatu struktur fungsional.

Variabel-variabel ini secara fungsional tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Apabila terjadi perubahan pada salah satu dari variabel-variabel tersebut, maka akan dapat mempengaruhi keseluruhan sistem yang ada, baik dalam kesatuan struktur fungsional maupun dalam keseimbangannya. Karena itu, kesatuan dan keseimbangan struktur fungsional ini harus diperhatikan dalam setiap perencanaan dan upaya pengelolaan ekosistem pesisir.

Agar perencanaan dan pengelolaan ekosistem pesisir dapat memenuhi konsiderasi di atas, maka pemilihan variabel biofisik perlu dilakukan dalam suatu pengumpulan data yang diwujudkan melalui pengambilan contoh. Pemilihan variabel biofisik ini hendaknya didasarkan pada tiga pendekatan berikut:

a. Identifikasi sumber perubahan dan variasinya (diikuti oleh bentuk perubahan);
b. Penilikan kualitas lingkungan pesisir sebagai proses koreksi dalam jangka waktu yang pendek;
c. Pencirian kualitas lingkungan pesisir sebagai elemen program pemantauan dalam jangka panjang.

Daya dukung dan keseimbangan struktur ekosistem pesisir dikontrol oleh beberapa komponen fisik, di antaranya: pola daerah aliran sungai dan masukan air tawar ke lingkungan perairan laut, proses dinamika pasang, gelombang, angin dan gaya-gaya lain yang terjadi di laut.

Untuk dapat memahami kondisi di atas, maka variabel fisik yang perlu dikaji melalui suatu pengambilan contoh, di antaranya meliputi: debit aliran sungai, dominasi arah angin, batimetri, pasang, gelombang, arus, suhu, salinitas dan sedimentasi.

Di samping komponen fisik, komponen kimia berperan penting di perairan pesisir. Komponen kimia air mempunyai pengaruh terhadap produktivitas biologis melalui interaksi dengan proses-proses fisiologis organisme.

Secara umum kehidupan di laut sangat bergantung pada ketersediaan karbon, oksigen, nitrogen dan fosfor. Nitrogen merupakan salah satu unsur dalam asam amino yang merupakan bahan untuk protein, sedangkan fosfor diperlukan untuk bahan pembentuk senyawa seperti ATP (*Adenosine Tri-Phosphate*) yang sangat penting dalam proses transfer energi di dalam tubuh organisme. Di dalam air laut, unsur-unsur yang disebutkan di atas tersedia dalam bentuk senyawa bikarbonat, fosfat, nitrat terlarut dan bentuk-bentuk lainnya. Karena itu, pengkajian terhadap kondisi dan struktur ekosistem perairan pesisir harus memperhatikan variabel kimia yang terkandung di dalamnya.

Sebagaimana telah dikemukakan, bahwa ekosistem perairan merupakan suatu himpunan integral dari komponen fisik-kimia dan biologi. Karena itu apabila terjadi perubahan pada komponen fisik-kimia perairan, hal ini tentunya akan mengaksentuasi perubahan komponen biologinya, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Dengan demikian, komponen biologi merupakan komponen yang sangat penting di suatu ekosistem perairan pesisir.

Pada prinsipnya analisis komponen biologi di wilayah pesisir dan laut merupakan pengukuran respon biologis terhadap perubahan lingkungan hidup akibat adanya degradasi kualitas perairan. Respon biologis tersebut dapat dikaji melalui struktur komunitas organisme yang dijadikan variabel dari komponen biologi penting. Variabel penting yang dianalisis pada ekosistem pesisir meliputi: vegetasi pesisir, mangrove dan padang lamun, rumput laut, terumbu karang, plankton, benthos dan nekton.

2.2. Skala Observasi

Penentuan skala observasi dari suatu pengambilan contoh sumberdaya di wilayah pesisir, harus mempertimbangkan kesatuan dan keseimbangan struktur fungsional sumberdaya tersebut. Pertimbangan ini akan mengarahkan kita pada dua tahapan dasar dalam penentuan skala observasi, yaitu: 1) penentuan lokasi pengambilan contoh, dan 2) frekuensi pengambilan contoh. Dari kedua tahapan dasar ini, selanjutnya dapat dipertimbangkan secara simultan beberapa skala observasi. Misalnya: suatu area padang lamun, suatu wilayah dampak, variasi harian, variasi tahunan dan sebagainya.

Pemilihan skala observasi ditentukan oleh beberapa cara, bergantung kepada dua hal berikut:

a. Adanya analisis pendahuluan dari ekosistem yang akan memunculkan skala fungsional dan diskontinyu, misalnya dalam mempelajari ekologi hutan mangrove dengan melakukan pengambilan contoh: jenis-jenis tumbuhan dari suatu hutan mangrove; hutan mangrove pada suatu transek hutan secara horizontal dan transversal; area hutan dari suatu wilayah.

b. Adanya analisis pendahuluan yang tidak memunculkan skala-skala tertentu. Di sini kita dihadapkan pada suatu kontinum skala yang mungkin, tanpa adanya dugaan bahwa skala yang satu lebih signifikatif daripada skala yang lain. Hal ini sering ditemui, misalnya dalam komunitas vegetasi dari suatu dataran atau komunitas plankton dari suatu massa air. Dari teladan yang terakhir, kita dapat melihat bahwa penyebaran berdasarkan ruang ditentukan oleh heterogenitas pada semua skala yang berhubungan dengan kontinyuitas skala hidrodinamik.

Dari sudut pandang praktis, penentuan skala observasi berpijak pada dua elemen berbeda: 1) amplitudo daerah pengambilan contoh, dan 2) densitas observasi pada daerah ini. Hal ini akan menentukan (untuk setiap kerangka pengambilan contoh) dua skala: 1) ukuran variabel (unsur) yang dianalisis, dan 2) variasi yang diamati dalam variabel (unsur). Dari sini kita akan dapat mempelajari, misalnya: siklus tahunan melalui pengambilan contoh pada suatu jarak tertentu (misalnya, pada 1 kilometer, 10 kilometer atau 10 meter).

Sering terlihat bahwa terdapat hubungan orde antara dimensi dari pengambilan contoh dan jarak rata-rata antara contoh, dimana hubungan ini merupakan kerangka dasar pengambilan contoh yang secara umum mencakup 30 hingga 100 pengambilan contoh. Namun ketentuan ini hanyalah secara praktis, dan dikaitkan pada kemungkinan material untuk mengolah suatu seri contoh serta analisis data yang tersedia. Pada 5 - 10 tahun yang lalu, menganalisis suatu matriks data berdimensi 100 x 100 sangat jarang dilakukan, kecuali mempunyai komputer yang mampu mengerjakannya. Pada saat ini walaupun komputer dapat menentukan dengan mudah kebalikan matriks yang berukuran bahkan lebih dari 100 x 100, tetapi hasil analisis seperti itu dapat memberikan kesulitan lain dalam kerumitan menginterpretasikannya.

Kita dapat mengusulkan sebagai langkah umum, suatu studi statistik pendahuluan dari suatu variabel yang dipilih untuk keperluan ini atau sejumlah variabel sepanjang kontinum skala observasi: baik melalui analisis harmonis jika kita memiliki satu seri observasi yang panjang, maupun beberapa skala kecil yang mampu menunjukkan suatu variabilitas statistik pada suatu titik spasio-temporal, yang diperoleh dari suatu skala ruang dan waktu yang kecil dibandingkan skala pengambilan contoh.

2.3. Beberapa Teknik Pengambilan Contoh

Terdapat beragam teknik pengambilan contoh yang dapat diterapkan dalam suatu pengumpulan data sumberdaya wilayah pesisir. Namun sebelum pemilihan terhadap suatu teknik pengambilan contoh tertentu dilakukan, terlebih dahulu perlu dilakukan pemeriksaan pada beberapa kriteria berikut:

a. Populasi yang ditarik harus merupakan populasi terhingga;
b. Jenis dan tipe variabel populasi harus tertentu;
c. Sebaran unsur dari populasi harus diketahui;
d. Kerangka dasar pengambilan contoh harus tersedia.

Setelah pemeriksaan kriteria ini dilakukan, baru kemudian dapat dipilih teknik pengambilan contoh yang akan diterapkan, dengan tetap berpegang pada pilihan dan batasan yang diperlukan dalam suatu pengambilan contoh.

Di sini dikemukakan tiga teknik pengambilan contoh yang umumnya digunakan dalam pengumpulan data biofisik sumberdaya pesisir, yaitu:

a. Pengambilan contoh acak sederhana;
b. Pengambilan contoh acak berlapis/stratifikasi acak;
c. Pengambilan contoh sistematik.

2.3.1. Pengambilan Contoh Acak Sederhana

a. Batasan

Apabila suatu contoh berukuran n diambil dari suatu populasi berukuran N sedemikian sehingga setiap unsur dapat terpilih dengan peluang yang sama, dengan peluang terambilnya semua unsur dalam contoh sama, maka prosedur pengambilan contoh demikian disebut pengambilan contoh acak sederhana (*Simple Random Sampling*). Contoh yang terambil disebut contoh acak sederhana.

b. Prosedur Pemilihan Contoh

Misalkan N = 100 petak hutan mangrove (masing-masing seluas 6 km^2) yang akan dipelajari kepadatannya. Melalui pengambilan contoh acak sederhana ditarik n = 20 petak. Untuk memenuhi persyaratan yang diminta, ke-100 petak (anggota populasi) diberi nomor dari 01 s/d 99 dan 00. Kemudian dari tabel bilangan acak dengan menggunakan lajur pertama dan mengabaikan 3 digit yang terakhir untuk setiap bilangan, diperoleh 20 nomor sebagai anggota contoh seperti berikut:

10	77	28	51
22	99	63	02
24	96	09	01
42	89	10	52
37	85	07	70

c. **Satuan Pengambilan Contoh**

Petak hutan mangrove

d. **Kerangka Pengambilan Contoh**

Daftar 100 petak hutan mangrove yang diberi nomor 00 sampai dengan 99.

e. **Pendugaan Rata-rata dan Total Populasi**

Jika ke-100 petak hutan mangrove yang akan dipelajari dapat diasumsikan berasal dari area dengan jenis tanah yang hampir sama, maka kepadatan rata-rata petak hutan mangrove (populasi) dapat diduga dengan menggunakan rata-rata contoh:

$$\hat{\mu} = \bar{y} = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \dots + y_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

dengan penduga ragam yang dapat dihitung berdasarkan: $s_{\bar{y}}^2 = \frac{s^2}{n}\left[\frac{N-n}{N}\right]$

sedangkan,
$$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2$$
$$= \frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]$$

Adapun y_i adalah kepadatan mangrove di petak ke-i (i = 1, 2, ..., 20), N adalah jumlah petak seluruhnya, n adalah banyaknya petak yang terpilih dan s^2 adalah dugaan ragam contoh. Besaran $\frac{N-n}{N}$ biasa disebut **faktor koreksi populasi terhingga** dan $\frac{n}{N}$ sering disebut **fraksi pengambilan contoh**.

Dugaan total kepadatan petak hutan mangrove (populasi) yang sedang dipelajari adalah sebagai berikut:

$$\hat{\tau} = N\bar{y} = \frac{N}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

dengan dugaan ragam: $s_{\hat{\tau}}^2 = \frac{N^2 s^2}{n}\left(\frac{N-n}{N}\right)$

Selang kepercayaan (1 - α)% dari nilai rata-rata populasi dihitung berdasarkan:

$$\bar{y} - t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} s_{\bar{y}} \le \mu \le \bar{y} + t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} s_{\bar{y}}$$

dan selang kepercayaan (1 - α)% dari total populasi dihitung berdasarkan:

$$\hat{\tau} - t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} s_{\hat{\tau}} \le \tau \le \hat{\tau} + t_{\frac{\alpha}{2}(n-1)} s_{\hat{\tau}}$$

f. Pendugaan Nilai Proporsi

Jika dari ke-20 petak contoh mangrove ingin diperoleh nilai dugaan proporsi petak yang hanya terdapat jenis *Rhizophora* sp., maka nilai yi (i = 1, 2, ..., 20) yang dipilih akan sama dengan 1 untuk petak yang terdapat *Rhizophora* sp. dan 0 untuk petak lainnya. Dugaan proporsi petak *Rhizophora* sp. diberikan oleh:

$$\hat{p} = \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

dengan dugaan ragam:

$$s_{\hat{p}}^2 = \frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n-1}\left(\frac{N-n}{N}\right)$$

g. Penentuan Ukuran Contoh

Ukuran baik/buruknya hasil pendugaan terhadap rata-rata, total dan proporsi populasi sangat ditentukan oleh ukuran contoh yang diambil dari populasi tersebut. Secara umum, hasil pendugaan akan semakin baik jika ukuran contoh ditambah. Jika selang kepercayaan 95% untuk suatu nilai dugaan $(\hat{\theta})$ dilambangkan sebagai $\hat{\theta} \pm B$ maka B dapat dihitung melalui persamaan:

$$B = t_{\alpha/2(db)}\sqrt{s_{\hat{\theta}}^2}$$

Untuk memudahkan perhitungan, untuk n yang cukup besar dan taraf nyata 5%, biasanya nilai $t_{0,025}$ dari t-student mendekati 2. Berdasarkan ini, besarnya simpangan nilai dugaan $(\hat{\theta})$ dapat dibatasi sebagai:

$$B = 2\sqrt{s_{\hat{\theta}}^2}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan untuk menduga ragam nilai dugaan rata-rata, total dan proporsi terhadap persamaan B di atas, maka diperoleh ukuran contoh untuk menduga rata-rata (n_1), total (n_2) dan proporsi (n_3) sebagai berikut:

$$n_1 = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4} + \sigma^2}$$

$$n_2 = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4N^2} + \sigma^2}$$

$$n_3 = \frac{Np(1-p))}{(N-1)\frac{B^2}{4} + p(1-p)}$$

sedangkan σ^2, N, p diperoleh dari studi pendahuluan atau hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.3.2. Pengambilan Contoh Acak Berlapis/Stratifikasi Acak

a. Batasan

Pengambilan contoh acak berlapis/stratifikasi acak adalah pengambilan contoh dari populasi yang telah disekat menjadi beberapa kelompok (disebut **lapisan**) dan pengambilan contoh pada setiap lapisan dilakukan dengan pengambilan contoh acak sederhana.

Metode ini sering digunakan pada kondisi sebagai berikut:

a. Keragaman dalam setiap lapisan lebih kecil dibandingkan dengan keragaman populasi secara keseluruhan.
b. Perlunya menduga parameter setiap lapisan secara terpisah.
c. Masalah pengambilan contoh yang dapat berbeda di setiap lapisan.

b. Prosedur Pemilihan Contoh

Mari kita perhatikan kembali 100 petak hutan mangrove pada pengambilan contoh acak sederhana yang dikemukakan di atas. Bila diamati lebih jauh, terlihat bahwa kepadatan hutan mangrove yang berada di sekitar aliran sungai ke arah muara lebih tinggi daripada di bagian wilayah yang lain. Dari sini dapat dilihat bahwa paling sedikit terdapat 2 kelompok (lapisan) dari ke-100 petak hutan mangrove. Selanjutnya pada setiap lapisan diambil contoh berdasarkan prosedur pengambilan contoh acak sederhana.

c. Satuan Pengambilan Contoh

Petak hutan mangrove

d. Kerangka Pengambilan Contoh

Dua macam daftar petak hutan mangrove, masing-masing yang berasal dari sekitar aliran sungai ke arah muara dan yang berasal dari bagian wilayah yang lain.

e. Pendugaan Rata-rata dan Total Populasi

Jika N adalah ukuran populasi yang telah dikelompokkan menjadi L lapisan, dengan ukuran $N_1, N_2, ..., N_L$ dan $\bar{y}_i$ adalah dugaan rata-rata nilai pengamatan yang diperoleh pada lapisan ke-i (i = 1, 2,...,L), maka dugaan rata-rata bagi nilai pengamatan yang dipelajari adalah:

$$\hat{\mu} = \bar{y}_{st} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{L} N_i \bar{y}_i$$

dengan dugaan ragam: $s^2_{\bar{y}_{st}} = \frac{1}{N^2}\sum_{i=1}^{L} N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right)\frac{s_i^2}{n_i}$

Adapun dugaan bagi total nilai pengamatan yang dipelajari adalah: $\hat{\tau} = N\bar{y}_{st} = \sum_{i=1}^{L} N_i \bar{y}_i$

dengan dugaan ragam: $s^2_{\hat{\tau}_{st}} = \sum_{i=1}^{L} N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \frac{s_i^2}{n_i}$

f. Pendugaan Nilai Proporsi

Bila dugaan proporsi *Rhizophora* sp. dalam tiap lapisan ingin diketahui, maka untuk nilai p_i (i = 1, 2,...,L) yang diperoleh dari contoh berukuran n, dugaan proporsinya adalah sebagai berikut:

$$\hat{p}_{st} = \sum_{i=1}^{L} N_i \hat{p}_i$$

dengan dugaan ragam: $s^2_{\hat{p}_{st}} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^{L} N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i}\right) \frac{\hat{p}_i(1-\hat{p}_i)}{n_i - 1}$

g. Penentuan Ukuran Contoh

Dengan membatasi simpangan nilai dugaan (θ) sebagai $B = 2\sqrt{s^2_{\hat{\theta}}}$, maka ukuran contoh yang sebaiknya diambil untuk menduga rata-rata (n_1) dan total (n_2) adalah sebagai berikut:

$$n_1 = \frac{\sum_{i=1}^{L} \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{w_i}}{N^2 \frac{B^2}{4} + \sum_{i=1}^{L} N_i \sigma_i^2}$$

$$n_2 = \frac{\sum_{i=1}^{L} \frac{N_i^2 \sigma_i^2}{w_i}}{N^2 \frac{B^2}{4N^2} + \sum_{i=1}^{L} N_i \sigma_i^2}$$

sedangkan w_i adalah fraksi pengamatan yang dialokasikan pada lapisan ke-i (ni = nwi) dan $\sqrt{X_i}$ adalah ragam dalam populasi untuk lapisan ke-i yang dapat diduga dari penelitian pendahuluan atau penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

2.3.3. Pengambilan Contoh Sistematik

a. Batasan

Contoh sistematik adalah contoh yang diperoleh dengan cara memilih secara acak satu satuan contoh dari k satuan contoh pertama dari kerangka pengambilan contoh, dan mengambil contoh selanjutnya pada setiap jarak k dari satuan contoh yang diambil sebelumnya.

Pengambilan contoh sistematik merupakan pelengkap bagi alternatif penggunaa pengambilan contoh acak sederhana, dengan alasan:

- Pengambilan contoh sistematik memudahkan pemilihan dan mengurangi subyektivita yang sering dilakukan pada pengambilan contoh acak sederhana.
- Pengambilan contoh sistematik seringkali memberikan informasi yang lebih banyak pe satuan usaha dibanding pengambilan contoh acak sederhana.

b. Prosedur Pemilihan Contoh

Terdapat tiga tipe populasi yang dapat dipertimbangkan dalam memilih penggunaar pengambilan contoh sistematik, yaitu: populasi yang bersifat acak, populasi yang bersifat tersusur dan populasi yang bersifat periodik.

Suatu populasi dikatakan bersifat acak, jika semua unsur populasi tersusun secara acak dalam populasinya. Dengan demikian penggunaan contoh sistematik tidak banyak berbeda dengan contoh acak sederhana.

Suatu populasi dikatakan bersifat tersusun, jika semua unsur dalam populasi dapat disusun berdasarkan suatu kecenderungan nilai-nilainya. Contoh sistematik dari populasi semacam ini lebih lengkap dan lebih banyak memberikan keterangan per satuan usaha dibanding contoh acak sederhana.

Apabila unsur-unsur dalam populasi tersebut bervariasi secara siklus, maka populasi tersebut dikatakan bersifat periodik. Dalam hal ini contoh sistematik kurang banyak memberikan informasi dibandingkan dengan contoh acak sederhana.

Beberapa persamaan yang telah dikemukakan pada pengambilan contoh acak sederhana berlaku pula bagi perhitungan dalam contoh sistematik. Bedanya dengan contoh acak sederhana adalah tidak digunakannya tabel bilangan acak kecuali untuk unsur pertama.

Jika unsur-unsur dalam populasi dapat diberi nomor 1, 2,...,N, kemudian untuk ukuran contoh sebesar n berlaku hubungan $N = nk$, maka pemilihan unsur contoh pertama diambil secara acak dari 1, 2, ..., k. Jika unsur yang terpilih adalah C ($C \leq k$), maka unsur-unsur berikutnya adalah unsur yang ke (C+k), (C+2k) dan seterusnya sampai n unsur.

2.3.4 Teladan (Pengambilan Contoh Acak Sederhana)

Pada suatu inventarisasi komunitas mangrove di perairan pesisir seluas 14.400 m^2, diambil contoh secara acak pada sejumlah 39 petak/plot (masing-masing petak/plot berukuran 60 m^2). Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Contoh acak jumlah tegakan mangrove dari 2 spesies (data hipotetik)

Nomor Petak/Plot	Jml. Tegakan Spesies A	Jml. Tegakan Spesies B	Nomor Petak/ Plot	Jml. Tegakan Spesies A	Jml. Tegakan Spesies B
1	4	0	21	5	4
2	0	0	22	8	0
3	0	0	23	3	2
4	1	0	24	4	0
5	2	0	25	8	1
6	4	0	26	8	0
7	2	4	27	3	0
8	2	0	28	4	2
9	9	0	29	7	3
10	2	0	30	5	5
11	9	0	31	4	10
12	6	3	32	9	2
13	6	3	33	3	0
14	1	2	34	7	6
15	6	7	35	3	0
16	0	0	36	7	6
17	0	0	37	5	2
18	1	4	38	1	0
19	4	4	39	1	0
20	5	4			
Total				159	74

Kepadatan rata-rata petak/plot mangrove untuk spesies A diduga dengan menggunakan rata-rata contoh:

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i}{n} = \frac{y_1 + y_2 + \ldots\ldots + y_n}{n}$$

$$= \frac{4 + 0 + \ldots\ldots + 1}{39} = 4.07$$

dengan dugaan ragam: $s_{\bar{y}}^2 = \frac{s^2}{n}\left(\frac{N-n}{N}\right) = \frac{7.76}{39}\left(\frac{240-39}{240}\right) = 0.17$

sedangkan: $s^2 = \frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2\right]$

$$= \frac{1}{39-1}\left[\left(4^2 + 0^2 + \ldots + 1^2\right) - \frac{1}{39}(4 + 0 + \ldots + 1)^2\right]$$

$$= \frac{1}{38}\left[943 - \frac{1}{39}(159)^2\right]$$

$$= \frac{1}{38}(294.77) = 7.76$$

sedangkan $N = \frac{14.400\ m^2}{60\ m^2} = 240\ petak/plot$

Adapun total kepadatan mangrove spesies A adalah:

$$\hat{t} = N\bar{y} = N\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i = (240)\frac{1}{39}(159) = 978.46 \approx 978$$

dengan dugaan ragam: $s_{\hat{t}}^2 = N^2 \frac{s^2}{n}\left(\frac{N-n}{N}\right) = (240)^2(0.17) = 9792$

Selang kepercayaan 95% rata-rata populasi dan total populasi adalah:

$$\bar{y} - t_{0.025(38)} s_{\bar{y}} \leq \mu \leq \bar{y} + t_{0.025(38)} s_{\bar{y}}$$

$$4.07 - (2.02)\sqrt{0.17} \leq \mu \leq 4.07 + (0.02)\sqrt{0.17}$$

atau $3.24 \leq \mu \leq 4.90$

dan $\hat{t} - t_{0.025(38)} s_{\hat{t}} \leq \tau \leq \hat{t} + t_{0.025(38)} s_{\hat{t}}$

$$978 - (2.02)\sqrt{9792} \leq \tau \leq 978 + (2.02)\sqrt{9792}$$

atau $778 \leq \tau \leq 1178$

Ukuran contoh yang diperlukan untuk nilai pendugaan (nilai rata-rata) sangat tergantung pada tuntutan ketepatan. Untuk pengambilan contoh acak sederhana dengan selang kepercayaan 95%:

$$n = \frac{\sigma^2 z_{0.05}^2}{L^2}$$

sedangkan n = jumlah contoh yang diperlukan; σ = simpangan baku; L = tingkat kesalahan yang diperkenankan dari nilai rata-rata (unit) dan z = fungsi jarak dari nilai rata-rata dalam unit simpangan baku ($z_{0,05}$ = 1.96 dan $z_{0,01}$ = 2.58).

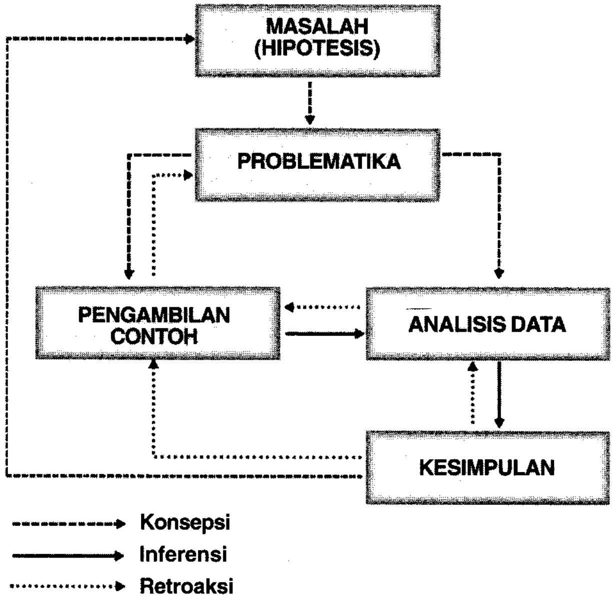
Apabila diambil teladan tersebut di atas untuk spesies A, diperoleh $\bar{y}$ = 4.07; s = 2.78; $z_{0,05}$ = 1.96 dan L = 0.41 (10% kesalahan), maka

$$n = \frac{(7.76)(1.96)^2}{(0.41)^2} = 177.34 \approx 177$$

3. KERANGKA DASAR METODE ANALISIS DATA

Optimasi suatu hasil penelitian memerlukan beberapa komponen penting, terutama komponen pengambilan contoh yang seringkali memonopoli keberhasilan penelitian tersebut. Secara klasik, seorang peneliti senantiasa berupaya membuat hubungan yang baik antara rencana pengambilan contoh dan analisis data, agar kesimpulan yang ditarik dapat menjawab dengan baik masalah-masalah yang dikemukakan sejak awal.

Korespondensi antara pengambilan contoh dan analisis data diarahkan untuk dapat mengadaptasikan dengan baik berbagai kemungkinan pada akhir penelitian, yaitu: **pertama**, mengoptimasi hasil pengambilan contoh dan **kedua**, mengoptimasi hasil analisis data dalam rangka menjawab problematika yang diajukan dalam penelitian. Perspektif ini mengarah pada suatu interaksi antara problematika penelitian, perencanaan pengambilan contoh, dan analisis data (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan fungsional antara elemen-elemen dalam suatu perencanaan penelitian

Dalam rangka memecahkan masalah yang ada, dan dengan mempertimbangkan beberapa hipotesis yang dibuat dalam penelitian-penelitian sebelumnya, peneliti membangun suatu problematika penelitian. Pada prinsipnya problematika ini mendeterminasi kerangka pengambilan contoh. Seringkali berbagai hambatan dalam pengambilan contoh dan juga dalam analisis data yang telah direncanakan dapat memaksakan suatu distorsi pada kerangka pengambilan contoh inisial, sehingga kita perlu mempertimbangkan kembali formulasi problematika. Bila pengambilan contoh telah terwujud, penarikan kesimpulan melalui analisis data merupakan penentu yang terbaik, meskipun persiapan dan intuisi peneliti dapat memainkan peranan yang tidak dapat diabaikan. Kesimpulan akhir dari suatu penelitian dapat memberikan kejelasan baru terhadap problematika, yang memungkinkan adanya modifikasi terhadap hipotesis yang diajukan dalam rangka memecahkan problematika tersebut. Hal ini menimbulkan siklus penelitian yang baru.

3.1. Data, Obyek, Variabel dan Skala

Data biasanya diperoleh dari hasil pengukuran karakter suatu objek tertentu berdasarkan skala pengukuran tertentu pula. Adapun pengertian data, objek, variabel dan skala dapat dirinci sebagai berikut:

Data : Hasil observasi terhadap lingkungan melalui pengukuran secara obyektif dengan menggunakan alat pengukuran atau prosedur tertentu. Observasi bertujuan untuk menjawab pertanyaan, seperti berapa banyak, berapa besar, berapa panjang, berapa sering, berapa cepat, dimana, dan macam apa. Observasi memiliki karakteristik, yaitu direpresentasikan oleh angka, yang mempunyai kelebihan nyata yang berbeda.

Obyek : Sumber observasi yang menghubungkan pengertian dengan angka. Sumber observasi, misalnya: individu, tanaman, hewan, keluarga, tanah, periode dan lain-lain.

Variabel : Pengukuran terhadap obyek, dengan memperhatikan beberapa karakteristik yang menyatakan secara tidak langsung bahwa obyek-obyek berbeda dalam karakteristiknya, yang dapat mengandung sejumlah nilai yang berbeda.

Skala : Sebagaimana telah disebutkan bahwa variabel adalah karakteristik obyek yang dapat mengandung dua atau lebih nilai yang mempunyai skala tertentu. Skala adalah suatu skema representasi variabel dari nilai-nilai suatu variabel.

Secara umum skala terbagi atas 4 tipe, yaitu:

a. Skala Nominal

Skala nominal ditentukan tanpa suatu pengukuran atau tanpa adanya ordonansi antara satu pernyataan dengan pernyataan lainnya.

Untuk alasan teoritis dan kemudahan, deskripsi variabel-variabel kualitatif yang berskala nominal disusun berdasarkan suatu sekuensi yang tidak membicarakan hubungan menurut orde. Namun untuk keperluan analisis, deskripsi yang berbeda dikodekan menurut suatu numerotasi/ penomoran. Apapun kode yang diberikan, penghitungan yang dilakukan tidak didasarkan pada numerotasi tapi pada frekuensi kejadiannya, dan tidak terdapat hubungan orde antara modalitas yang berbeda. Misalnya: deskripsi variabel **ada** atau **tidak ada** dari beragam taksa suatu komunitas organisme, tipe-tipe hidroklimatik dan lain-lain.

b. Skala Ordinal

Nilai-nilai dari suatu variabel dapat disusun berdasarkan hubungan orde yang berarti. Kita mengetahui bahwa suatu realisasi adalah lebih besar atau lebih kecil dari realisasi yang lain, tanpa perlu adanya suatu pengukuran jarak antara dua realisasi yang berbeda, misalnya dalam mengukur preferensi suatu jenis organisme untuk 4 tipe habitat (A, B, C, dan D):

Tipe habitat	Ranking
A	1
B	2
C	3
D	4

Teladan lain yang dapat dikemukakan: (1) organisme yang mempunyai pertumbuhan yang kontinyu (berbagai kelas umur atau ukuran); (2) tingkatan suksesi suatu komunitas alami menurut gradien ruang dan waktu; (3) kategori kelimpahan (sangat jarang, jarang, melimpah, sangat melimpah).

c. Skala Interval

Suatu tambahan di luar skala ordinal adalah skala interval. Pada skala interval, perbedaan-perbedaan yang sama antara skala nilai mempunyai arti yang sama. Misalnya: perbedaan antara skala nilai 56 dan 59 menunjukkan kuantitas yang sama dengan perbedaan skala nilai 114 dan 117, yaitu perbedaan 3 unit yang mempunyai arti sama.

Didefinisikan sebagai kuantitas nyata, dimana kita dapat menentukan hubungan-hubungan dan/atau perbedaan-perbedaan yang ada antara variabel. Definisi ini diterapkan pada sejumlah besar variabel yang digunakan dalam studi lingkungan dan yang mengukur, antara lain: kelimpahan, massa, frekuensi, kuantitas energi, kuantitas informasi dan sebagainya.

d. Skala Rasio/Nisbah

Selain memiliki semua sifat skala interval, skala rasio juga mempunyai suatu nilai dasar yang tidak dapat berubah. Misalnya: nilai rasio 36 terhadap 18 mempunyai arti yang sama dengan nilai rasio 100 terhadap 50, atau 900 terhadap 450, atau pasangan nilai lainnya yang mempunyai rasio sama dengan 2.

Skala nominal dikategorikan sebagai *skala non-metrik*, dengan tipe variabel **kualitatif**. **Skala ordinal** dikategorikan sebagai skala *non-metrik*, dengan tipe variabel **semi-kuantitatif**. **Skala interval** dan **skala rasio** diklasifikasikan ke dalam *skala metrik*, dengan tipe variabel **kuantitatif**.

Dua pengertian dasar yang terkait pada pengukuran variabel kuantitatif, yaitu: *metrik* dan *skala pengukuran*. Secara sederhana, skala pengukuran berhubungan dengan pilihan unit pengukuran, yaitu peralihan dari satu skala ke skala yang lain melalui transformasi linear. Sebaliknya perubahan dari metrik dapat didefinisikan sebagai perubahan dalam cara mengukur, yaitu peralihan satu metrik ke metrik yang lain melalui transformasi non-linear. Dengan demikian kita dapat mengekspresikan, misalnya: kelimpahan organisme plankton dalam bentuk jumlah individu per unit volume atau dalam bentuk logaritmanya sebagai dua metrik yang berbeda; perbandingan Y/X=2 tidak memiliki signifikansi yang sama, tergantung kepada apakah X dan Y menunjukkan kelimpahan dalam metrik aritmatik atau logaritmik.

3.2. Klasifikasi Metode Analisis Data

Sebelum memilih metode analisis data yang tepat, terlebih dahulu perlu diketahui tipe dan tingkat ketepatan datanya. Pada Tabel 2 berikut disajikan ringkasan metode analisis yang mungkin untuk variabel biofisik yang bertipe kuantitatif, semi kuantitatif dan kualitatif.

Variabel biofisik yang memiliki tingkat ketepatan yang tinggi, seharusnya dianalisis dengan metode yang mempunyai tingkat ketepatan yang tinggi pula. Namun dalam kondisi tertentu, variabel dengan tingkat ketepatan yang tinggi dapat dianalisis dengan metode yang digunakan untuk data dengan tingkat ketepatan yang rendah. Misalnya, variabel kuantitatif dapat juga dianalisis dengan metode yang digunakan untuk variabel semi kuantitatif atau kualitatif. Metode-metode ini tentu saja berbeda, tergantung apakah akan menjelaskan keadaan suatu ekosistem dalam batasan unidimensi atau multidimensi, atau menganalisis perubahan-perubahan yang terjadi dengan melihat satu seri data secara spasio-temporal.

Tabel 2. Beberapa metode analisis data untuk variabel-variabel biofisik dengan tipe variabel yang berbeda

Variabel kuantitatif	Variabel semi kuantitatif	Variabel kualitatif
Analisis data univariabel:		
Perbedaan antara 2 grup: • t student	**Perbedaan antara 2 grup:** • U dari Mann-Whitney, ...	**Perbedaan antara 2 grup:** • χ^2, ...
Perbedaan antara banyak grup: • Analisis varians (Anova)	**Perbedaan antara banyak grup:** • H dari Kruskal-Wallis, ...	**Perbedaan antara banyak grup:** • χ^2, ...
Analisis data multivariabel		
Perbedaan antara 2 grup: • T2 dari Hotelling	**Perbedaan antara 2 grup:** • ________________	**Perbedaan antara 2 grup:** • χ^2 multidimensi
Perbedaan antara banyak grup: • Analisis varians multidimensi (manova)	**Perbedaan antara banyak grup:** • ________________	**Perbedaan antara banyak grup:** • χ^2 multidimensi
Pengukuran asosiasi Q	**Pengukuran asosiasi Q**	**Pengukuran asosiasi Q**
Pengukuran asosiasi R: • Dispersi • Korelasi parametrik	**Pengukuran asosiasi R:** • ________________ • Korelasi pangkat	**Pengukuran asosiasi R:** • Teori informasi, χ^2 • Kontingensi
Keanekaragaman spesies: • Pengukuran keanekaragaman • Model distribusi kelimpahan	**Keanekaragaman spesies:** • Pengukuran keanekaragaman • Diagram pangkat	**Keanekaragaman spesies:** • Kekayaan spesies • Spesies dominan
Pengelompokan	**Pengelompokan**	**Pengelompokan**
Ordinasi	**Ordinasi**	**Ordinasi**
Diagram dispersi dan Regresi	**Diagram pangkat**	**Tabel kontingensi dan Koresponden**
Analisis diskriminan	____________________	**Analisis diskriminan diskret**
Korelasi kanonik	____________________	____________________

Dalam kasus data campuran, kita dapat juga menggunakan metode-metode sebagaimana yang dikemukakan dalam Tabel 2 di atas, setelah dilakukan adaptasi terhadap data yang ada dengan memperhatikan tingkat ketepatannya. Misalnya, untuk menganalisis suatu tabel data yang kadang-kadang kuantitatif dan kadang-kadang kualitatif, sebaiknya kita menggunakan metode-metode analisis yang cocok untuk data kualitatif, setelah mengelompokkan nilai-nilai dari variabel kuantitatif ke dalam sejumlah kecil kelas, dengan membuat pengecualian untuk koefisien-koefisien asosiasi tertentu yang menerima semua tipe variabel.

Anggaplah satu kelompok data individu-karakter yang berisi *n* observasi dan *p* variabel, dimana diasumsikan bahwa *p* variabel dapat dibagi ke dalam 2 kelompok: satu kelompok sebagai variabel independen, dan satu kelompok lainnya sebagai variabel dependen. Untuk menganalisis tipe data seperti ini dapat digunakan metode statistik yang mengarah pada *Metode Dependen.*

Metode dependen menelaah ada atau tidak adanya hubungan antara 2 kelompok variabel. Jika seorang peneliti, didasarkan pada eksperimen terkontrol dan/atau beberapa teori yang relevan, menentukan variabel-variabel eksperimennya dalam 2 kelompok: satu kelompok sebagai variabel-variabel independen dan satu kelompok lainnya sebagai variabel-variabel dependen, maka tujuan dari metode dependen terhadap data demikian adalah mendeterminasi yang mana dari kelompok variabel independen yang mempengaruhi kelompok variabel dependen baik secara individu maupun bersama-sama.

Di sisi lain, apabila pada kelompok data yang ada tidak mungkin dilakukan pemisahan variabel-variabel atas kelompok variabel independen dan kelompok variabel dependen, maka analisis statistik yang dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi *bagaimana* dan *mengapa* variabel-variabel berhubungan antara mereka. Metode statistik untuk menganalisis data seperti ini disebut *Metode Interdependen.*

a. *Metode Dependen*

Metode dependen lebih lanjut dapat diklasifikasikan berdasarkan:

a. Jumlah variabel independen (satu atau lebih dari satu variabel).
b. Jumlah variabel dependen (satu atau lebih dari satu variabel).
c. Tipe skala pengukuran yang digunakan untuk variabel independen (metrik atau non-metrik).
d. Tipe skala pengukuran yang digunakan untuk variabel dependen (metrik atau non-metrik).

Metode-metode statistik dependen yang dapat digunakan berdasarkan banyaknya peubah yang terlibat baik pada peubah dependen maupun independen serta tipe data yang dianalisis disajikan pada Tabel 3 di halaman berikut ini.

b. *Metode Interdependen*

Sebagaimana telah disebutkan bahwa apabila satu kelompok data tidak mungkin atau tidak tepat dipisahkan atas kelompok variabel independen dan kelompok variabel dependen, maka tujuan utama metode interdependen adalah memahami atau mengidentifikasi *mengapa* dan *bagaimana* variabel-variabel berkorelasi di antara mereka.

Metode-metode statistik interdependen yang dapat digunakan berdasarkan banyaknya peubah yang terlibat baik pada peubah dependen maupun independen serta tipe data yang akan dianalisis disajikan pada Tabel 4 di halaman berikut ini..

Tabel 3. Metode-metode Statistik Dependen

	Variabel Dependen			
	Satu Variabel		Lebih dari Satu Variabel	
	Metrik	Non-metrik	Metrik	Non-Metrik
Variabel Independen				
Satu Variabel				
Metrik	• Regresi	• Analisis diskriminan • Regresi logistik	• Korelasi kanonik	• Analisis diskriminan grup-ganda (MDA)
Non-Metrik	• Uji t	• Analisis diskriminan diskret	• Analisis ragam multivariabel (MANOVA)	• MDA diskret
Lebih dari Satu Variabel				
Metrik	• Regresi berganda	• Analisis diskriminan • Regresi logistik	• Korelasi kanonik	• MDA
Non-Metrik	• Analisis ragam (ANOVA)	• Analisis diskriminan diskret • Analisis konjoin (MONANOVA)	• MANOVA	• MDA diskret

Tabel 4. Metode-metode Statistik Interdependen

Jumlah Variabel	Tipe Data	
	Metrik	Non-Metrik
Dua	• Korelasi sederhana	• Tabel kontingensi 2 arah • Model loglinear
Lebih dari Dua	• Analisis komponen utama (PCA) • Analisis faktor • Analisis kelompok (*cluster analysis*)	• Tabel kontingensi banyak arah • Model loglinear • Analisis faktorial koresponden (CA)

4. RINGKASAN BEBERAPA TEKNIK ANALISIS KUANTITATIF DATA

4.1. Statistika Dasar

Beberapa pengertian yang penting difahami dalam statistika dasar adalah ukuran pemusatan nilai (rata-rata, median dan modus), ukuran penyebaran nilai (ragam, simpangan baku dan koefisien keragaman) dan pendugaan serta pengujian hipotesis (t-student, χ^2 dan F).

4.1.1. Pengukuran Nilai Pusat

Pengukuran nilai pusat yang disajikan ada tiga macam, yaitu rata-rata (nilai tengah) aritmetik, median dan modus.

a. Rata-rata (nilai tengah)

Nilai rata-rata (nilai tengah) aritmetik ($\bar{x}$) ditentukan dengan: $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$

dimana $\bar{x}$ adalah rata-rata (nilai tengah) aritmetik, xi adalah nilai pengamatan individu ke-i dan n adalah banyaknya pengamatan/pengukuran.

Teladan. Suatu contoh berukuran 24 ekor ikan dipilih dari populasi tertentu dan diamati ukuran panjangnya (cm), yaitu: 3.3, 3.5, 3.6, 3.6, 3.7, 3.8, 3.8, 3.8, 3.9, 3.9, 3.9, 4.0, 4.0, 4.0, 4.0, 4.1, 4.1, 4.1, 4.2, 4.2, 4.3, 4.3, 4.4 dan 4.5. Rata-rata contoh adalah:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{1}{24}(3.3 + 3.5 + ... + 4.5) = \frac{1}{24}(95.0) = 3.96 \text{ CM}$$

b. Median

Nilai pusat suatu distribusi frekuensi yang membagi seluruh nilai pengukuran ke dalam 2 bagian yang sama banyak disebut median (md) dan ditentukan dengan:

$$m_d = x_{(n+1)/2} \quad ; \text{ jika n ganjil}$$
$$= \frac{1}{2}\left(x_{n/2} + x_{(n/2)+1}\right) \quad ; \text{ jika n genap}$$

Teladan. Nilai harapan hidup 2 spesies burung yang ditangkap adalah 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 49 untuk spesies A dan 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 untuk spesies B. Median contoh untuk spesies A adalah:

$$n = 9; \quad m_d = x_{(n+1)/2} = x_5 = 40$$

sedangkan untuk spesies B adalah:

$$n = 10; \quad m_d = \frac{1}{2}\left(x_{n/2} + x_{(n/2)+1}\right) = \frac{1}{2}\left(x_5 + x_6\right) = \frac{1}{2}(40+41) = 40.50$$

c. Modus

Nilai pengukuran yang paling sering muncul, atau nilai pengukuran yang memiliki frekuensi terbesar disebut modus (m_o).

Teladan. Nilai hipotetik pengukuran panjang karapas (mm) populasi udang tambak adalah 6, 7, 7, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 9, 9, 10, 11, 12, 12, 12, 12, 12, 13, 13 dan 14 dengan modus 8 mm dan 12 mm (bimodal) yang muncul masing-masing 6 dan 5 kali dari 20. Sedangkan pengamatan panjang karapas (mm) populasi udang tambak 3, 5, 7, 7, 7, 8, 8, 8 dan 10 memberikan nilai modus 7.5 mm.

4.1.2. Pengukuran Penyebaran/Dispersi

Ukuran penyebaran nilai-nilai yang disajikan di sini adalah ragam (variance), simpangan baku dan koefisien keragaman.

a. Ragam/Varians (*Variance*)

Ragam suatu populasi (σ^2) dibatasi sebagai rata-rata perbedaan kuadrat (d) nilai-nilai anggota populasi (x_i) dengan rata-rata aritmetik (μ):

$$\sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} d_i^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2 = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2\right)$$

sedangkan N menunjukkan ukuran populasi.

Untuk contoh dengan peluang terpilih sama dan diambil tanpa pemulihan, ragamnya didefinisikan sebagai:

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} d_i^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right)$$

b. Simpangan Baku (*Standard Deviation*)

Simpangan baku populasi (σ) berukuran N dibatasi sebagai akar kuadrat positif dari ragam/varians populasi:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2\right)}$$

Simpangan baku dapat diinterpretasikan sebagai konsentrasi frekuensi nilai-nilai karakter yang diamati di sekitar rata-rata (nilai tengah populasi).

Simpangan baku contoh dibatasi sebagai:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} d_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right)}$$

c. Koefisien Variasi/Keragaman

Koefisien keragaman dibatasi sebagai simpangan baku contoh yang dinyatakan dalam persentase terhadap nilai tengah contohnya. Koefisien ini biasanya digunakan untuk mengekspresikan secara kuantitatif variasi/keragaman dalam ukuran struktur:

$$KV = \frac{100s}{\bar{x}}$$

sedangkan KV adalah koefisien variasi, s adalah simpangan baku contoh dan $\bar{x}$ adalah rata-rata nilai tengah/rata-rata contoh.

d. Batas kepercayaan (*Confidence Limit*)

Batas kepercayaan digunakan untuk menyatakan selang kepercayaan di sekitar nilai tengah/rata-rata contoh dengan menghitung besaran:

$$CL = \bar{x} \pm t_{\alpha/2,v} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

sedangkan CL adalah batas kepercayaan, $\bar{x}$ adalah nilai tengah/rata-rata contoh, $t_{\alpha(2),v}$ adalah nilai t-student pada taraf nyata α (peluang dua arah) dengan derajat bebas (v) = n-1, s adalah simpangan baku contoh dan n adalah ukuran contoh atau banyaknya pengukuran dalam contoh.

Teladan: data hipotetik di bawah ini digunakan untuk menghitung ragam, simpangan baku dan koefisien variasi serta batas kepercayaan:

x_i(g)	x_i^2(g^2)
1.2	1.44
1.4	1.96
1.6	2.56
1.8	3.24
2.0	4.00
2.2	4.84
2.4	5.76

Berdasarkan data di atas dapat dihitung statistik-statistik berikut:

$$n = 7 \qquad \sum_{i=1}^{7} x_i = 12.60\text{ g} \qquad \sum_{i=1}^{7} x_i^2 = 23.80\text{ g}^2 \qquad \bar{x} = \frac{12.60\text{ g}}{7} = 1.80\text{ g}$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2\right) = \frac{1}{6}\left(23.80\text{ g}^2 - \frac{1}{6}(12.60\text{ g})^2\right) = 0.1867\text{ g}^2$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{0.1867\text{ g}^2} = 0.43\text{ g}$$

sehingga $\text{Koefisien Variasi} = KV = \frac{100s}{\bar{x}} = \frac{100(0.43g)}{1.80g} = 24\%$

dan $\text{Batas Kepercayaan} = CL = \bar{x} \pm t_{\alpha/2,v} \frac{s}{\sqrt{n}} = 1.80\text{ g} \pm t_{0.025,6} \frac{0.43g}{\sqrt{7}}$

$$= 1.80g \pm \frac{2.45(0.43\text{ g})}{2.65} = 1.80g \pm 0.40g$$

4.1.3. Uji Beda Nyata/Uji Signifikansi (*Significance Test*)

Tiga uji penting akan disajikan di bagian ini, yaitu: uji t-student, uji khi-kuadrat (χ^2) dan Uji F untuk analisis ragam.

a. Uji t-student

Uji t-student digunakan untuk membedakan dua nilai tengah contoh yang diasumsikan menyebar normal. Uji ini sangat berguna untuk contoh yang berukuran $10 \leq n < 30$ dengan ragam dari kedua populasi yang umumnya diasumsikan sama besar.

Ringkasan prosedur:

1) Susunlah hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara 2 nilai tengah populasi yang sedang dipelajari.
2) Tentukan taraf nyata , α peluang menolak H_0 padahal H_0 benar. Dengan demikian, peluang menolak H_0 padahal H_0 memang tidak benar adalah 1- α(biasanya $\alpha = 5\%$, sehingga 1- $\alpha = 95\%$).
3) Hitunglah statistik uji $t_{hit} = \dfrac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)\sqrt{\dfrac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}}{\sqrt{\dfrac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}}$ sedangkan t_{hit} adalah nilai statistik yang akan diuji, $\bar{x}_1$ adalah nilai tengah contoh 1, $\bar{x}_2$ adalah nilai tengah contoh 2, n_1 adalah ukuran contoh 1, n_2 adalah ukuran contoh 2, s_1 adalah simpangan baku contoh 1 dan s_2 adalah simpangan baku contoh 2.

4) Bandingkan nilai t_{hit} dengan t tabel pada derajat bebas n_1+n_2-2. Jika nilai t_{hit} lebih kecil dari t tabel pada $\alpha = 0.05$, maka kedua nilai tengah dapat diasumsikan sama pada tingkat kepercayaan 95%.

b. Uji Khi-kuadrat (χ^2)

Uji khi-kuadrat (χ^2) dikenal luas pemakaiannya pada uji-uji nonparametrik. Uji ini dikenal juga sebagai uji kecocokan (*goodness of fit*), yaitu membandingkan nilai harapan hitung dengan nilai pengamatan. Uji khi-kuadrat tidak dapat digunakan untuk pengamatan dengan frekuensi harapan (n) kurang dari 5.

Ringkasan prosedur :

1) Susunlah hipotesis H_0 yang menyatakan bahwa tidak terdapat asosiasi tertentu antara satu spesies dan tipe substrat.
2) Tentukan taraf nyata α, peluang menolak H_0 padahal H_0 benar (biasanya $\alpha = 5\%$, sehingga $1 - \alpha = 95\%$ atau $\alpha = 1\%$, sehingga $1 - \alpha = 99\%$).
3) Buatlah tabel kontingensi dengan menyajikan informasi keberadaan/ada (*presence*) atau ketidakberadaan/tidak ada (*absence*) spesies yang diamati pada tipe substrat yang dimaksudkan (biasanya data ini diperoleh dari sejumlah contoh/kuadrat dalam suatu area) (Tabel 5).

Tabel 5. Tabel kontingensi biner (untuk uji khi-kuadrat)

Tipe substrat	**Σ contoh spesies X** **Ada (+)**	**Tidak ada (-)**	**Total**
Pasir	a	b	a+b
Batu	c	d	c+d
Total	a+c	b+d	a+b+c+d

4) Hitunglah statistik uji $\chi^2 = \dfrac{(ad - bc)^2 n}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$, n adalah ukuran contoh.

5) Bandingkan nilai χ^2 hitung dengan χ^2 tabel pada derajat bebas (b-1)(k-1), sedangkan b adalah banyaknya baris dalam tabel kontingensi dan k adalah banyaknya kolom dalam tabel kontingensi. Jika χ^2 hitung lebih kecil dibanding χ^2 tabel pada P=0.05(kepercayaan 95%), maka diasumsikan bahwa tidak terdapat asosiasi antara spesies dan substrat (tidak ada preferensi tertentu dari spesies terhadap substrat).

c. Uji F (Analisis Varians/Ragam, ANOVA = *Analysis of Variance*)

Analisis varians/ragam (ANOVA) adalah uji simultan perbedaan antara beberapa parameter populasi atau plot uji. ANOVA yang paling sederhana adalah ANOVA untuk klasifikasi satu arah (*one-way* ANOVA), dengan variasi ukuran contoh tidak sama, ukuran contoh sama atau uji beda nilai tengah dari dua populasi.

Misalkan suatu pengukuran nilai pemusatan parametrik, yang memberikan pembandingan secara bersamaan pengaruh satu faktor atau lebih pada berbagai kelompok contoh yang sering digunakan dalam rangkaian rancangan percobaan (*experimental design*). Sidik ragam/Analisis varians dapat menguji secara bersamaan perbedaan di antara beberapa populasi atau plot uji. Semua uji pada Anova mensyaratkan penarikan contoh harus dilakukan secara acak.

Teladan

Masalah yang sedang dipelajari adalah untuk menjawab pertanyaan: apakah terdapat perbedaan yang nyata dari ukuran rata-rata plankton spesies X pada 2 penarikan contoh plankton? Untuk itu, perlu diasumsikan bahwa tidak terdapat perbedaan (hipotesis nol, H_0) pada tingkat kepercayaan 95%. Data yang diperoleh disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Ukuran spesies X dari 2 penarikan contoh (teladan uji F)

Ulangan	1 (y_1)	2 (y_2)
1	7.2	8.8
2	7.1	7.5
3	9.1	7.7
4	7.2	7.6
5	7.3	7.4
6	7.2	6.7
7	7.5	7.2

Berdasarkan data di atas, diperoleh statistik-statistik berikut:

$$n_1 = n_2 = 7 \qquad \sum_{i=1}^{7} y_{1i} = 52.60 \quad \sum_{i=1}^{7} y_{2i} = 52.90$$

$$\bar{y}_1 = 7.51 \qquad \bar{y}_2 = 7.56$$

$$\sum_{i=1}^{7} y_{1i}^2 = 398.30 \qquad \sum_{i=1}^{7} y_{2i}^2 = 402.23$$

sehingga: $$JK_{Total} = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{7} y_{ij}^2 - \frac{1}{2.7}\left(\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{7} y_{ij}\right)^2 = 398.30 + 402.23 - \frac{1}{14}(52.60 + 52.90)^2$$

$$= 800.53 - 795.0179 = 5.4921$$

$$JK_{Kelompok} = \sum_{i=1}^{2} \frac{y_{i.}^2}{n} - \frac{1}{2.7}\left(\sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{7} y_{ij}\right)^2 = \frac{52.60^2}{7} + \frac{52.90^2}{7} - \frac{1}{14}(52.60 + 52.90)^2$$

$$= 795.0243 - 795.0179 = 0.0064$$

$$JK_{dalam\ Kelompok} = JK_{Total} - JK_{Kelompok} = 5.4921 - 0.0064 = 5.4857$$

$$KT_{Kelompok} = \frac{JK_{Kelompok}}{db_{Kelompok}} = \frac{0.0064}{2-1} = 0.0064$$

$$KT_{dalam\ Kelompok} = \frac{JK_{dalam\ Kelompok}}{db_{dalam\ Kelompok}} = \frac{5.4857}{7+7-2} = 0.4571$$

$$F_{hit} = \frac{KT_{Kelompok}}{KT_{dalam\ Kelompok}} = \frac{0.0064}{0.4571} = 0.01$$

Besaran-besaran di atas biasanya disajikan dalam suatu tabel khusus yang disebut Tabel Analisis Ragam atau *Table of Analysis of Variance* (tabel ANOVA) disajikan sebagaimana Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Tabel Analisis Ragam bagi klasifikasi satu arah

Sumber Keragaman	**db**	**JK**	**KT**	**Fhit**
Kelompok dalam Kelompok	dbKelompok dbdalam Kelompok	JKKelompok JKdalam Kelompok	KTKelompok KTdalam Kelompok	KTKelompok/KTdalam Kelompok
Total	dbTotal			

Sedangkan yang dimaksud dengan Sumber Keragaman adalah komponen keragaman yang dipelajari, yaitu Kelompok untuk menunjukkan ada 2 kelompok/populasi, Total untuk menunjukkan keduanya dalam populasi dan keragaman lainnya yang biasa disebut dalam Kelompok. Adapun derajat bebas (db) diperoleh berdasarkan banyaknya populasi yang diamati dan banyaknya ulangan di setiap populasi/kelompok. Derajat bebas kelompok menjadi sama dengan 1 (2-1), sedangkan derajat bebas total sama dengan 13 (n-1) dan derajat bebas dalam kelompok adalah derajat bebas sisa yang sama dengan 12 (13-1). Adapun JK adalah Jumlah Kuadrat (*Sum of Squares*) yang mencerminkan ukuran keragaman di setiap sumber keragaman dan KT adalah Kuadrat Tengah (*Mean Squares*) yang merupakan penduga tak bias ragam di setiap sumber keragaman.

Dengan demikian, untuk masalah yang sedang dipelajari, tabel analisis ragamnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Analisis Ragam untuk data pada Tabel 6

Sumber Keragaman	**db**	**JK**	**KT**	**F_{hit}**
Kelompok dalam Kelompok	1 12	0.0064 5.4857	0.0064 0.4571	0.01
Total	13	5.4921		

Nilai F_{tabel} untuk taraf nyata 5% dan derajat bebas pembilang 1 serta derajat bebas penyebut 12 sama dengan 4.75 sehingga $F_{hit} < F_{tabel}$. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada taraf nyata 5% atau pada tingkat kepercayaan 95% tidak terdapat perbedaan yang nyata antara panjang rata-rata populasi 1 dengan panjang rata-rata populasi 2.

4.2. Analisis Keanekaragaman, Similaritas dan Asosiasi

Analisis data kuantitatif lain yang sangat penting peranannya dalam ekologi adalah analisis mengenai keanekaragaman (*diversity*), similaritas atau kesamaan (*similarity*) dan asosiasi.

4.2.1. Keanekaragaman

Keanekaragaman ditentukan oleh dua hal penting, yaitu: **pertama**, jumlah taksa yang berbeda (spesies memberikan keanekaragaman spesifik dan genus memberikan keanekaragaman generik) dan **kedua**, regularitas/equibilitas/keseragaman yang mencerminkan penyebaran individu dalam satu kategori sistematik.

Dalam mempelajari keanekaragaman digunakan banyak ukuran, diantara Indeks Shannon dan Indeks Brillouin.

a. Indeks Shannon

Indeks Shannon biasa dilambangkan H' yang dibatasi sebagai:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{n_i}{N} Log_2 \frac{n_i}{N}\right) = -\sum_{i=1}^{s}(p_i Log_2\ p_i)$$

s menunjukkan banyaknya spesies yang diamati.Oleh karena Log_2 atau ^2Log atau logaritma dengan bilangan dasar 2 dari suatu ekspresi numerik dapat dinyatakan sebagai $^2Log\ x$, maka $^2Log\ x$ dapat dinyatakan kembali menjadi $(\log x / \log 2) = 3.32 \log x$, sedangkan log menunjukkan logaritma dengan bilangan dasar 10. Dengan demikian, indeks Shannon dapat ditulis kembali menjadi:

$$H' = -\sum \frac{n_i}{N}(3.32)\log\frac{n_i}{N} = -3.32\sum\frac{n_i}{N}\log\frac{n_i}{N} = 3.32\sum\frac{n_i}{N}(\log N - \log n_i)$$
$$= 3.32\left[\log N - \frac{1}{N}\sum n_i \log n_i\right]$$

dengan ragam

$$\mathrm{Var}\ H' = \frac{\sum p_i(\log_2 p_i)^2 - \left(\sum p_i \log_2 p_i\right)^2}{N} + \frac{s-1}{2N^2} + \ldots$$

Untuk menguji hipotesis $\mathbf{H_0}$: $\mathbf{H'_1 = H'_2}$, perbedaan antar contoh digunakan uji t dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t = \frac{H'_1 - H'_2}{\sqrt{\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2}}$$

dengan derajat bebas (db):

$$db = \frac{(\text{Var } H'_1 + \text{Var } H'_2)^2}{(\text{Var } H'_1)^2/N_1 + (\text{Var } H'_2)^2/N_2}$$

b. Regularitas/Equitabilitas/Keseragaman

Equitabilitas adalah penyebaran individu antar spesies yang berbeda dan diperoleh dari hubungan antara keanekaragaman (H') dengan keanekaragaman maksimalnya.

$$E = \frac{H'}{H'max} = \frac{H'}{Log_2\, s}$$

karena $$H'max = -\sum_{i=1}^{s}\left(-\frac{1}{s}Log_2\frac{1}{s}\right) = -s\left(\frac{1}{s}Log_2\frac{1}{s}\right) = Log_2\, s$$

Teladan: Tabel 9 di halaman berikut menyajikan hasil pengamatan banyaknya individu beberapa spesies di dua jenis perairan. Jika E_A adalah equitabilitas di perairan A dan E_B adalah equitabilitas di perairan B, maka informasi equitabilitas di kedua perairan dapat dihitung berdasarkan besaran-besaran yang telah disajikan pada tabel tersebut, yaitu:

$$E_A = \frac{H'}{\ln s} = \frac{-\sum \frac{n_i}{N}\ln\left(\frac{n_i}{N}\right)}{\ln s} = \frac{-\sum p_i \ln(p_i)}{\ln s} = \frac{-(-2.4080)}{\ln(20)} = \frac{2.4080}{2.9957} = 0.8038$$

$$E_A = \frac{-(-2.0560)}{\ln(14)} = \frac{2.0560}{2.6391} = 0.7791$$

Tabel 9. Data hasil pengamatan berupa jumlah individu pada perairan A dan B (teladan untuk indeks keseragaman)

Spesies	Perairan A				Perairan B				
	Jumlah individu	**pi**	**Pi ln(pi)**	**Pi (ln pi)²**	**Spesies**	**Jumlah individu**	**pi**	**Pi ln(pi)**	**Pi (ln pi)²**
a	35	0.2059	-0.3254	0.5143	a	65	0.3283	-0.3657	0.4073
b	26	0.1529	-0.2872	0.5392	b	30	0.1515	-0.2859	0.5396
c	25	0.1471	-0.2819	0.5404	c	30	0.1515	-0.2859	0.5396
d	21	0.1235	-0.2583	0.5402	d	20	0.1010	-0.2316	0.5309
e	16	0.0941	-0.2224	0.5256	e	14	0.0707	-0.1873	0.4962
f	11	0.0647	-0.1772	0.4850	f	11	0.0556	-0.1606	0.4641
g	6	0.0353	-0.1180	0.3947	g	9	0.0455	-0.1405	0.4343
h	5	0.0294	-0.1037	0.3657	h	5	0.0253	-0.0929	0.3418
i	3	0.0176	-0.0712	0.2876	i	4	0.0202	-0.0788	0.3076
j	3	0.0176	-0.0712	0.2876	j	3	0.0152	-0.0635	0.2660
k	3	0.0176	-0.0712	0.2876	k	3	0.0152	-0.0635	0.2660
l	3	0.0176	-0.0712	0.2876	l	2	0.0101	-0.0464	0.2133
m	3	0.0176	-0.0712	0.2876	m	1	0.0051	-0.0267	0.1412
n	2	0.0118	-0.0523	0.2322	n	1	0.0051	-0.0267	0.1412
o	2	0.0118	-0.0523	0.2322					
p	2	0.0118	-0.0523	0.2322					
q	1	0.0059	-0.0302	0.1552					
r	1	0.0059	-0.0302	0.1552					
s	1	0.0059	-0.0302	0.1552					
t	1	0.0059	-0.0302	0.1552					
s=20	N=170	1.0000	-2.4080	6.6606	s=14	198	1.0000	-2.0560	5.0890

Ragam untuk indeks Shannon dapat dihitung, baik untuk perairan A maupun perairan B sebagai berikut:

$$\text{Var } H' = \frac{\sum pi(\ln pi)^2 - (\sum pi \ \ln pi)^2}{N} - \frac{s-1}{2N^2}$$

$$= \frac{6.6606-(-2.4080)^2}{170} - \frac{20-1}{2(170)^2} = 0.0733-0.0003 = 0.0730$$

untuk perairan A dan

$$\text{Var } H' = \frac{5.0890-(-2.0560)^2}{198} - \frac{14-1}{2(198)^2} = 0.0471-0.0002 = 0.0469$$

untuk perairan B.

Pengujian perbedaan kedua perairan berdasarkan indeks Shannon dapat dilaksanakan dengan menggunakan uji t, yaitu:

$$t_{hit} = \frac{H_1' - H_2'}{(\mathrm{Var}\ H_1' + \mathrm{Var}\ H_2')^{1/2}}$$

$$= \frac{2.4080 - 2.0560}{\sqrt{0.0730 + 0.0469}} = 1.01$$

dengan derajat bebas (db):

$$db = \frac{(\mathrm{Var}\ H_1' + \mathrm{Var}\ H_2')^2}{(\mathrm{Var}\ H_1')^2 / N_1 + (\mathrm{Var}\ H_2')^2 / N_2}$$

$$= \frac{(0.0730 + 0.0469)^2}{\frac{1}{170} 0.0730^2 + \frac{1}{198} 0.0469^2} = 338$$

Mengingat nilai t_{hit} yang kecil (lebih kecil dari t_{tabel}), kedua perairan ini tidak dapat ditunjukkan berbeda satu sama lain.

c. Indeks Brillouin

Jika seluruh individu yang terlibat dalam pengamatan dan pengukuran dapat diidentifikasi dan dihitung, biasanya digunakan indeks Brillouin, seperti halnya teladan berikut ini, berdasarkan data pada Tabel 10:

Tabel 10. Data jumlah individu untuk setiap spesies karang (secara hipotetik)

Spesies	ni	ln (ni!)
Acropora formosa	17	33.5051
Montipora angulata	15	27.8993
Hydrophora rigida	11	17.5023
Merulina ampliata	4	3.1781
Synaraea lichen	4	3.1781
Porites nigrescens	3	1.7918
Echinopora horrida	3	1.7918
Pocillopora damicornis	3	1.7918
Oxypora glabra	2	0.6931
Seriatopora hystrix	2	0.6931
Clavarina triangularis	1	0.0000
Galaxea astrea	1	0.0000
Pavona cactus	1	0.0000
s = 13	N = 67	92.0243

Indeks Brillouin dibatasi sebagai: $$HB = \frac{c}{N}\left(\ln(N!) - \sum_{i=1}^{s}\ln(n_i!)\right)$$

sedangkan c = 3.3219 jika digunakan logaritma dengan bilangan dasar 2 dan c = 2.3026 jika digunakan logaritma alami. Dengan demikian, Indeks Brillouin (HB) untuk data pada Tabel 10 sama dengan:

$$HB = \frac{2.3026}{67}(\ln(67!) - 92.0243) = 4.3204$$

Adapun equitabilitas dibatasi sebagai: $E = \frac{HB}{HB_{max}}$

dengan $$HB_{max} = \frac{1}{N}\ln\left(\frac{N!}{\left(\left[\frac{N}{s}\right]!\right)^{s-r}\left(\left(\left[\frac{N}{s}\right]+1\right)!\right)^{r}}\right)$$

sedangkan besaran $\frac{N}{s}$ dipilih bagian bulatnya, sehingga $\frac{67}{13} = 5.15$ digunakan bagian bulatnya, yaitu 5.

Adapun $r = N - s\left[\frac{N}{s}\right] = 67 - (13)(5) = 2$. Dengan demikian

$$HB_{max} = \frac{1}{67}\ln\left(\frac{67!}{(5!)^{11}(6!)^{2}}\right) = 2.2674$$

sehingga

$$E = \frac{4.3204}{2.2674} = 1.9054$$

4.2.2. Similaritas/Kesamaan/Kemiripan

Indeks-indeks yang dibahas dalam bagian ini menyangkut satuan pengambilan contoh yang terbagi dalam dua kategori, yaitu indeks kesamaan/similaritas dan indeks jarak.

a. Indeks Kesamaan/Similaritas

Lima macam indeks kesamaan dibahas di bagian ini, yaitu indeks Jaccard, indeks Sorensen, indeks Baroni Urbani & Buser, indeks Morisita dan Prosentase similaritas. Tiga indeks yang pertama termasuk dalam indeks similaritas biner, sedangkan indeks Morisita didasarkan atas indeks dominansi Simpson.

Indeks similaritas biner menyangkut 4 koefisien utama, yaitu a, b, c dan d yang dibatasi sebagai: a = banyaknya spesies yang terdapat baik di contoh A maupun contoh B, b = banyaknya spesies yang terdapat dalam contoh B tetapi tidak terdapat dalam contoh A, c = banyaknya spesies yang terdapat dalam contoh A tetapi tidak terdapat dalam contoh B dan d =banyaknya spesies yang tidak terdapat baik dalam contoh A maupun dalam contoh B. Secara ringkas dapat digambarkan dalam Tabel 11 berikut:

Tabel 11. Tabel data biner untuk 2 contoh (teladan indeks kesamaan/similaritas)

Contoh B	Contoh A	
	Jumlah spesies ada	Jumlah spesies tidak ada
Jumlah spesies ada	a (18)	b (1)
Jumlah spesies tidak ada	c (1)	d (5)

Indeks Jaccard

Indeks Jaccard dibatasi sebagai: $S_J = \dfrac{a}{a+b+c}$

sehingga untuk indeks Jaccard antara contoh A dan contoh B diatas sama dengan:

$$S_J = \frac{18}{18+1+1} = 0.90$$

Indeks Sorensen

Indeks Sorensen dibatasi sebagai: $S_S = \dfrac{2a}{2a+b+c}$

sehingga untuk indeks Sorensen antara contoh A dan contoh B di atas sama dengan:

$$S_S = \frac{2(18)}{2(18)+1+1} = \frac{36}{38} = 0.95$$

Indeks Baroni - Urbani & Buser

Indeks Baroni - Urbani & Buser dibatasi sebagai: $S_B = \dfrac{\sqrt{ad}+a}{a+b+c+\sqrt{ad}}$

sehingga untuk indeks Baroni - Urbani & Buser antara contoh A dan contoh B di atas sama dengan:

$$S_B = \frac{\sqrt{(18)(5)}+18}{18+1+1+\sqrt{(18)(5)}} = \frac{27.49}{29.49} = 0.93$$