

**PETA KENDALI DEMERIT UNTUK DATA
AUTOKORELASI**

SKRIPSI



NURMASYITA NASRUDDIN

H051191066

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

**PETA KENDALI DEMERIT UNTUK DATA
AUTOKORELASI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains

Pada Program Studi Statistika Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

NURMASYITA NASRUDDIN

H051191066

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

SEPTEMBER 2023

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Peta Kendali Demerit untuk data Autokorelasi

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Makassar, 27 September 2023



NURMASYITA NASRDDIN

NIM H051191066

PETA KENDALI DEMERIT UNTUK DATA AUTOKORELASI

Disetujui Oleh

Pembimbing Utama



Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.

NIP. 197504292000032001

Pembimbing Pertama



Dra. Nasrah Sirajang, M.Si

NIP. 196505191993032002

Ketua Program Studi



Dr. Agha Islamiyati, S.Si., M.Si.

NIP. 197708082005012002

Pada 27 September 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Nurmasyita Nasruddin
NIM : H051191066
Program Studi : Statistika
Judul Skripsi : Peta Kendali Demerit untuk data Autokorelasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

- | | | |
|---------------|---------------------------------------|---|
| 1. Ketua | : Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si. | () |
| 2. Sekretaris | : Dra. Nasrah Sirajang, M.Si. | () |
| 3. Anggota | : Dr. Nurtiti Sunusi, M.Si. | () |
| 4. Anggota | : Drs Raupong, M.Si. | () |

Ditetapkan di : Makassar
Tanggal : 27 September 2023

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa Sallam* beserta keluarga dan para sahabatnya. *Alhamdulillahirobbil'alamin*, berkat nikmat kemudahan, kesehatan dan pertolongan yang diberikan oleh Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Peta Kendali Demerit untuk data Autokorelasi” yang disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan yang diberikan oleh berbagai pihak yang secara konsisten memberikan bantuan baik secara moril maupun materil. Meskipun penulis memiliki keterbatasan dalam kemampuan dan pengetahuan, serta skripsi yang jauh dari kata sempurna namun berkat bantuan dan dukungan tersebut, penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada orangtua penulis, mama saya pintu surga saya **Nurtati** yang telah mendukung serta melahirkan, membesarkan dan mendidik saya juga dengan ikhlas memberikan limpahan cinta, kasih sayang, doa kepada saya tidak lupa pula untuk bapak saya tercinta **Nasruddin** atas pengorbanan luar biasa hingga saya tidak pernah merasa kekurangan dalam hal keuangan dan dukungan, membantu saya berproses, serta dengan ikhlas merawat saya dan mendoakan saya. Untuk sekedar mengucapkan terimakasih atas kebaikan kedua orang tua saya dan untuk sekedar bersyukur telah memiliki orang tua yang hebat mungkin tidak akan cukup dikertas ini.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf jajarannya.

2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf jajarannya.
3. **Ibu Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Statistika yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, dorongan semangat dan motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
4. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si., dan Ibu Dra. Nasrah Sirajang, M.Si** selaku Pembimbing Utama dan Pembimbing Pertama yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu dan pemikirannya untuk senantiasa memberikan arahan, dorongan semangat, dan motivasi kepada penulis dari awal hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
5. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi, M.Si.** dan **Bapak Drs. Raupong, M.Si.**, selaku Tim Penguji yang telah meluangkan waktu dalam memberikan motivasi serta kritikan yang membangun kepada penulis dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. **Ibu Dra. Nasrah Sirajang, M.Si**, selaku Penasehat Akademik penulis yang senantiasa memberikan bantuan, nasehat, serta motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
7. Segenap jajaran **Dosen Pengajar** dan **Staf Departemen Statistika** yang telah banyak membantu, memberikan ilmu-ilmunya, serta berbagai kemudahan lainnya yang diberikan selama menempuh pendidikan sarjana di Departemen Statistika.
8. Kedua tante saya, **Ibu Dra. Nasrah Sirajang, M.Si** dan **Tante Rahma** yang senantiasa memberikan kasih sayang, dukungan, bantuan, serta doa-doa mulianya dalam setiap langkah perjalanan hidup penulis.
9. Sahabat tercinta saya yang sendari dulu menemani sejak SMA hingga sekarang, **Selmatia Salsabila Fisri, Ummu Latifah, dan Maulidya Junisa Amin**, yang telah menyemangati saya, mendukung saya dan menghibur saya disaat kesusahan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Sahabat seperjuangan Statistika 2019 tercinta penulis yaitu **Rahma** yang telah membantu dan mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir ini, juga teman tercinta saya pembimbing *the geng* **Yasmin Pratiwi, Nurazizah, Fadhila Febriyanti Najamuddin, Nursyafika** dan **Mayashari**, terimakasih atas suka

dan dukanya dan teman lainnya yang membantu memecahkan masalah tugas akhir saya **Muhammad Syamsul Bahri, Sapriadi Rasyid, Muliana, Marhama, Muh. Nur Iskandar Zulkarnain, dan Muhammad Ferdiansyah.** Makasih atas bantuan dan dukungan dari mereka semua.

11. Teman seperjuangan di **Statistika 2019** yang tidak sempat saya sebutkan satu-satu. Terima kasih atas ilmu, kebersamaan dalam menjalani perkuliahan di Departemen Statistika.
12. Jodoh penulis kelak, kamu adalah salah satu alasan penulis menyelesaikan skripsi ini, meskipun saat ini penulis tidak mengetahui keberadaanmu dan siapa dirimu. Penulis yakin bahwa sesuatu yang ditakdirkan menjadi milik kita akan menuju kepada kita bagaimanapun caranya.
13. Kepada seluruh pihak yang mungkin tidak sempat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala dukungan, partisipasi, dan apresiasinya yang diberikan kepada penulis.
14. Dan yang terakhir untuk diriku tercinta terimakasih banyak telah sampai pada titik ini, terimakasih sudah berjuang sejauh ini, kamu pasti bisa melalui hal lebih hebat didepannya.

Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, namun ini hasil terbaik yang dapat diberikan oleh penulis pada penelitian ini. Oleh karena dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan permohonan maaf yang sebesar-besarnya. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, 27 September 2023



Nurmasyita Nasruddin

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurmasyita Nasruddin
NIM : H051191066
Program Studi : Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul:

“Peta Kendali Demerit untuk Data Autokorelasi”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar, 27 September 2023

Yang menyatakan,



(Nurmasyita Nasruddin)

ABSTRAK

Proses industri seringkali menghasilkan data cacat yang bersifat autokorelasi, apabila dalam perusahaan terdapat berbagai macam tingkat kesalahan, maka perusahaan disarankan menggunakan peta kendali Demerit. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh peta kendali Demerit pada data berautokorelasi dan menerapkan peta kendali Residual Demerit dan peta kendali *Moving Centerline Demerit* (MCD) sebagai solusi dalam peta kendali Demerit autokorelasi terhadap pengendalian kecacatan produk pada data wadah plastik anti bocor. Metode yang digunakan adalah peta kendali demerit, peta kendali Residual, dan peta kendali *Moving Centerline Demerit* (MCD). Data yang digunakan merupakan data sekunder. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peta kendali Residual dan peta kendali MCD sama unggulnya dalam mengatasi data autokorelasi pada peta kendali Demerit dimana sama-sama terdapat 4 *out of control* atau 4 titik yang mengindikasikan adanya masalah proses produksi yang tidak dapat diatasi oleh perusahaan.

Kata Kunci: Peta Kendali Demerit, Autokorelasi, Peta Kendali Residual, Peta Kendali *Moving Centerline Demerit* (MCD)

ABSTRACT

Industrial processes often produce defect data that has complex behavior, that is autocorrelation, if there are various levels of error in the company, the company is advised to use Demerit control chart. This research aims to obtain a Demerit control chart on autocorrelated data and apply the Residual Demerit control chart and the Moving Centerline Demerit control chart as a solution in the autocorrelated demerit control chart to control product defects in leak-proof plastic container data. The methods used are demerit control chart, residual control chart, and Moving Centerline Demerit control chart. The data used is secondary data. The results of this study show that the Residual control chart and Moving Centerline Demerit control chart are equally superior in overcoming autocorrelation data on the Demerit control chart where both have 4 out of control or 4 points that indicate a production prosos problem that cannot be overcome by the company.

Keywords: *Demerit Control Chart, Autocorrelation, Residual Control Chart, Moving Centerline Demerit Control Chart.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Peta Kendali Atribut	4
2.2 Peta Kendali Demerit	4
2.3 Data Berautokorelasi	7
2.4 Peta Kendali Residual	9
2.5 Peta Kendali <i>Moving Centerline</i> Demerit	12
2.6 Data Wadah Plastik Anti Bocor	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Sumber Data	13
3.2 Identifikasi Variabel	13
3.3 Metode Analisis	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Uji Autokorelasi	16

4.2 Peta Kendali Demerit	16
4.3 Peta Kendali Demerit Autokorelasi	21
4.3.1 Identifikasi Model	21
4.3.2 Peta Kendali Residual	23
4.4 Peta Kendali <i>Moving Centerline</i> Demerit (MCD)	26
4.5 Perbandingan Peta Kendali Demerit, Residual, dan MCD	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Peta Kendali Demerit	20
Gambar 4.2 Fungsi Autokorelasi	21
Gambar 4.3 Fungsi Autokorelasi Parsial	22
Gambar 4.4 Fungsi Autokorelasi untuk Residual	21
Gambar 4.5 Fungsi Autokorelasi Parsial untuk Residual	23
Gambar 4.6 Peta Kendali Residual	25
Gambar 4.7 Peta Kendali MCD	28

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Struktur Data Peta Kendali Demerit	5
Tabel 2.2 Kriteria Pengujian Durbin-Watson	7
Tabel 2.3 Ciri-ciri teoritis ACF dan PACF untuk proses stasioner	9

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Wadah Anti Bocor	35
Lampiran 2. Uji Durbin-Watson	39
Lampiran 3. Tabel Durbin-Watson	42
Lampiran 4. Peta Kendali Demerit	45
Lampiran 5. Uji <i>Augmented Dicky Fuller</i> (ADF)	49
Lampiran 6. Estimasi Parameter	50
Lampiran 7. Peta Kendali Residual	51
Lampiran 8. Peta Kendali MCD	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses industri seringkali menghasilkan data cacat yang memiliki perilaku kompleks, yaitu bersifat autokorelasi karena unit-unit tersebut berurutan dan saling terkait dengan unit sebelumnya. Asumsi dasar penggunaan peta kendali adalah data yang diperoleh bersifat saling bebas dan menyebar normal dengan nilai tengah dan ragam tetap (Montgomery, 2009). Namun, dalam prakteknya tidak semua asumsi dapat terpenuhi salah satunya ketika data bersifat autokorelasi. Jika data produksi adalah autokorelasi, maka akan meningkatkan waktu deteksi pergeseran dan frekuensi *false alarm* (kesalahan tanda bahaya). Autokorelasi data menyebabkan meningkatnya *rate type I error*. Autokorelasi akan muncul karena berdasarkan sifat data dapat dipengaruhi oleh data pada waktu-waktu sebelumnya dan dapat dihasilkan dari banyak faktor, termasuk shift kerja, rotasi operator, perubahan mekanik atau teknisi, dan fungsi dalam mesin itu sendiri.

Peta kendali Demerit merupakan peta kendali dengan jenis cacat yang dikategorikan menjadi beberapa kelas menurut tingkat keseriusan cacatnya pada umumnya terdiri dari empat kelas yaitu cacat sangat serius, cacat serius, cacat cukup serius dan cacat minor (Montgomery, 2009). Apabila dalam perusahaan terdapat berbagai macam tingkat kesalahan, maka perusahaan disarankan menggunakan peta kendali jenis kesalahan atau peta kendali demerit dengan menggunakan peta kendali demerit, perusahaan dapat memperkirakan tingkat keparahan masalah kualitas dan menentukan apakah perbaikan diperlukan (Montgomery, 2001). Jika nilai demerit dalam sampel melewati batas kendali atas atau batas kendali bawah pada peta kendali demerit autokorelasi, maka perusahaan perlu mengambil tindakan korektif untuk memperbaiki proses produksi dan mengurangi jumlah cacat atau kegagalan dalam setiap sampel.

Para peneliti yang telah meneliti tentang peta kendali demerit adalah Ramadhani dkk (2014), menuliskan tentang analisis pengendalian kualitas menggunakan diagram kendali demerit untuk studi kasus produksi air minum dalam kemasan 240 ml di PT TIW, hasil penelitian yang diperoleh terdapat 18 titik

pengamatan yang berada di luar batas pengendali (*out of control*) dan terkendali pada iterasi ketiga yang dilakukan. Putri dan Aksioma (2018), meneliti tentang penerapan peta kendali demerit dan *fuzzy* demerit pada data Kantong semen di PT industri kemasan semen gresik, hasil analisis menunjukkan bahwa peta kendali *fuzzy* demerit lebih sensitif jika dibandingkan dengan peta kendali demerit karena peta kendali *fuzzy* demerit menangkap lebih banyak titik *out of control* daripada peta kendali demerit. Hulya dan Seda (2020), meneliti tentang *Design of Demerit Control Charts with Fuzzy c-Means Clustering and an Application in Textile Sector*, hasil yang didapatkan bahwa peta kendali Demerit dengan *Fuzzy C-Means* lebih sensitif dibandingkan peta kendali Demerit traditional.

Peta kendali demerit mengalami perkembangan lainnya salah satunya adalah *Moving Centerline Demerits* (MCD). MCD sesuai digunakan untuk data yang berautokorelasi otomatis dalam hal ini cocok digunakan untuk proses produksi atau layanan yang memiliki perubahan yang dinamis dan tidak stabil dari waktu ke waktu. David dan Harriet (2000), meneliti peta kendali demerit pada data yang berautokorelasi otomatis dan sesuai digunakan untuk data atribut. Dengan demikian penulis tertarik untuk mengkaji ulang apa yang telah dilakukan oleh David dan Harriet (2000) pada tugas akhir ini yang berjudul **“Peta Kendali Demerit Untuk Data Autokorelasi”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan peta kendali demerit pada data berautokorelasi ?
2. Bagaimana mengidentifikasi proses produksi dari wadah plastik anti bocor yang beraada diluar batas peta kendali Residual Demerit dan peta kendali *Moving Centerline Demerit* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data yang berautokorelasi yaitu data kecacatan wadah plastik anti bocor.

2. Data yang digunakan adalah data produk cacat dengan tiga tingkat keparahan (kelas).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian yaitu:

1. Untuk memperoleh peta kendali Demerit pada data berautokorelasi.
2. Mengidentifikasi proses produksi dari wadah plastik anti bocor yang berada diluar peta kendali Residual Demerit dan peta kendali *Moving Centerline Demerit*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mendalam tentang analisis keakuratan pada peta kendali demerit selain itu juga untuk menambah pengetahuan mengenai perkembangan demerit menjadi *Moving Centerline Demerit*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peta kendali Atribut

Peta kendali adalah salah satu metode statistik dalam bentuk tampilan grafis dari karakteristik kualitas yang telah diukur atau dihitung dari sebuah sampel dengan banyak sampel atau waktu. Peta kendali dibagi menjadi dua jenis yaitu peta kendali atribut dan peta kendali variabel. Apabila karakteristik kualitas bersifat data atribut, maka digunakan peta kendali atribut, tetapi jika karakteristik kualitas bersifat data variabel maka digunakan peta kendali variabel. Jenis-jenis peta kendali atribut antara lain, peta p, peta np, peta c, dan peta u (Montgomery, 2009). Peta kendali atribut digunakan untuk mengendalikan kualitas produk selama proses produksi yang tidak dapat diukur tetapi dapat dihitung, sehingga kualitas produk dapat dibedakan dalam karakteristik baik atau buruk, berhasil atau gagal dan dirancang untuk memperlihatkan proporsi cacat (Montgomery, 2001).

Batas-batas pengendali ini dipilih sedemikian hingga apabila proses terkendali, hampir semua titik-titik sampel akan jatuh di antara kedua garis batas atas dan batas bawah. Selama titik-titik terletak didalam batas atas pengendali, proses dianggap dalam keadaan terkendali. Tetapi suatu titik yang terletak diluar batas pengendali diinterpretasikan sebagai fakta bahwa proses tak terkendali atau *out of control* dan diperlukan tindakan penyelidikan dan perbaikan atau mendapatkan dan menyingkirkan sebab-sebab yang menyebabkan tingkah laku itu terjadi atau *out of control* (Montgomery, 1990).

2.2 Peta Kendali Demerit

Peta kendali demerit merupakan peta kendali yang digunakan untuk menganalisis sambungan yang terdapat kerusakan dalam setiap unit, namun terkadang pada beberapa proses ditemukan bermacam-macam jenis cacat yang tidak semua sambungan cacat mempengaruhi produk dengan akibat yang sama, dengan kata lain jenis cacat yang terjadi tidak boleh disamakan atau memiliki bobot kerusakan yang berbeda.

Menurut Grant dan Leavenworth (1988), prosedur yang modern seringkali membagi berbagai kemungkinan kecacatan suatu produk (dalam pengertian ketaksesuaiannya terhadap spesifikasi) ke dalam tiga kelas, tergantung pada keseriusan dari kecacatan yang berlainan dalam tiga klasifikasi seperti berikut ini:

- a) Ciri cacat kelas 1 (sangat serius) adalah unit akan menyebabkan kecelakaan yang tidak mudah untuk diperbaiki sehingga sama sekali tidak cocok untuk ditawarkan.
- b) Ciri cacat kelas 2 (serius) adalah unit akan meningkatkan biaya perawatan dan bisa mengalami cacat operasional kelas 1 sehingga mengurangi daya hidup produk.
- c) Ciri cacat kelas 3 (minor) adalah yaitu unit memiliki ketidaksempurnaan kecil dalam bentuk akhir, penampilan atau kualitas pekerjaan sehingga tidak menyebabkan kegagalan dalam pelayanan.

Berikut struktur data peta kendali Demerit ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Struktur Data Peta Kendali Demerit

<i>Subgrup(i)</i>	<i>n</i>	<i>Karakteristik Kualitas (j)</i>			<i>Demerit (d_i)</i>	<i>U_i</i>
		<i>Kelas 1</i>	<i>Kelas 2</i>	<i>Kelas 3</i>		
Obs ke-1	<i>n₁</i>	<i>c_{1,1}</i>	<i>c_{1,2}</i>	<i>c_{1,3}</i>	<i>d₁</i>	<i>U₁</i>
Obs ke-2	<i>n₂</i>	<i>c_{2,1}</i>	<i>c_{2,2}</i>	<i>c_{2,3}</i>	<i>d₂</i>	<i>U₂</i>
Obs ke-3	<i>n₃</i>	<i>c_{3,1}</i>	<i>c_{3,2}</i>	<i>c_{3,3}</i>	<i>d₃</i>	<i>U₃</i>
...
Obs ke- <i>m</i>	<i>n_m</i>	<i>c_{m,1}</i>	<i>c_{m,2}</i>	<i>c_{m,3}</i>	<i>d_m</i>	<i>U_m</i>

dengan:

c_{i,j} : jumlah unit cacat pada observasi ke-*i* dan di kelas *j*

i : jumlah subgroup dimana *i*; 1,2,3, ..., *m*

j : jumlah kelas dimana *j*: 1,2 dan 3

n_i : banyaknya sampel pada observasi ke-*i*

Jumlah cacat terboboti (*d_i*), pada masing-masing subgroup ditentukan dengan mengalikan jumlah unit cacat pada obeservasi ke-*i* dan di kelas *j* (*c_{i,j}*) dengan bobot cacat atau sistem (*w_i*), perusahaan biasanya telah menentukan bobot cacat

(w_i) untuk masing-masing jenis cacat sesuai kebijakan perusahaan. Jumlah cacat terboboti dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut (Montgomery, 2009):

$$d_i = w_1 c_{i,1} + w_2 c_{i,2} + w_3 c_{i,3} \quad (2.1)$$

Nilai rata-rata cacat per unit (U_i) untuk masing-masing subgroup pengamatan yang berjumlah i subgroup diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$U_i = \frac{d_i}{n_i} \quad (2.2)$$

dengan n_i : banyaknya sampel pada observasi ke- i

Garis tengah peta kendali demerit diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{U} = w_1 \bar{u}_1 + w_2 \bar{u}_2 + w_3 \bar{u}_3 \quad (2.3)$$

dengan \bar{u}_1, \bar{u}_2 , dan \bar{u}_3 yang menunjukkan rata-rata cacat per unit untuk kategori 1, 2 dan 3 yang dapat diperoleh dengan cara membagi jumlah cacat pada masing-masing kategori tersebut dengan jumlah keseluruhan sampel yang terdapat pada subgroup pengamatan atau dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\bar{u}_j = \frac{\sum_{i=1}^m c_{i,j}}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (2.4)$$

dengan:

$c_{i,j}$: jumlah unit cacat pada obeservasi ke- i dan di kelas j

j : jumlah kelas dimana j : 1,2 dan 3

n_i : banyaknya sampel pada obeservasi ke- i

i : 1,2,3, ..., m

Nilai dari batas kontrol dapat digambarkan sebagai UCL (*Upper Control Limit*) dan LCL (*Lower Control Limit*) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{U} + 3\hat{\sigma}_{U_i} \\ LCL &= \bar{U} - 3\hat{\sigma}_{U_i} \end{aligned} \quad (2.5)$$

selanjutnya untuk menghitung nilai standar deviasi $\hat{\sigma}_{U_i}$ sebagai berikut :

$$\hat{\sigma}_{U_i} = \sqrt{\frac{(w_1^2 \bar{u}_1 + w_2^2 \bar{u}_2 + w_3^2 \bar{u}_3)}{n_i}} \quad (2.6)$$

dengan $i : 1, 2, 3 \dots, m$

2.3 Data Berautokorelasi

Peta kendali pada umumnya dibentuk berdasarkan asumsi kebebasan atau berdistribusi normal pada data observasi. Namun, dalam kenyataannya data tidak selalu berdistribusi normal dan terjadi proses autokorelasi, sehingga keadaan ini akan berpengaruh terhadap pembuatan peta kendali. Salah satu uji yang dilakukan untuk menguji adanya autokorelasi adalah Uji Durbin-Watson (uji DW).

Hipotesis yang digunakan dalam uji Durbin-Watson sebagai berikut:

$H_0: \rho = 0$ (Tidak ada autokorelasi)

$H_1: \rho \neq 0$ (Ada autokorelasi)

Statistik d Durbin-Watson didefinisikan sebagai berikut:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.7)$$

dengan:

d : nilai Durbin-Watson

e_t : nilai error pada waktu ke- t

e_{t-1} : nilai error pada waktu ke- $t - 1$

Kriteria pengujian Durbin-Watson ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Kriteria Pengujian Durbin-Watson

Hipotesis	Keputusan	Jika
Ada autokorelasi positif	Tolak H_0	$0 < d < dL$
Tidak ada autokorelasi Positif	Tidak ada Keputusan	$dL < d < dU$
Ada autokorelasi negatif	Tolak H_0	$4 - dL < d < 4$
Tidak ada autokorelasi negatif	Tidak ada keputusan	$4 - dU < d < 4 - dL$
Tidak ada autokorelasi	Terima H_0	$dU < d < 4 - dU$

Sumber: Rahayu, 2009

dengan:

dU : nilai batas atas Durbin-Watson

dL : nilai batas bawah Durbin-Watson

Terjadinya autokorelasi biasanya karena data yang dikumpulkan berdasarkan urutan waktu berkaitan satu sama lain. Sehingga pengamatan lebih cenderung berkorelasi. Autokorelasi antara sampel dalam peta kendali dapat berdampak serius pada kinerja peta kendali. Asumsi autokorelasi tersebut tentunya harus dipenuhi agar peta kendali yang dihasilkan tidak menimbulkan hasil yang keliru.

Untuk data yang mengandung autokorelasi dapat diatasi dengan model deret waktu. Namun sebelum itu data yang digunakan untuk analisis runtun waktu adalah data yang stasioner. Pemeriksaan kestasioneran suatu data dapat menggunakan uji *unit root*. Uji *unit root* yang bisa digunakan adalah uji *Augmented Dicky Fuller* (ADF) dengan mengasumsikan model regresi sebagai berikut (Rusdi, 2011):

$$\Delta y_t = a_0 + \delta y_{t-1} + a_2 t + \varepsilon_t \quad (2.8)$$

Hipotesis yang digunakan dalam uji ADF sebagai berikut:

$H_0: \delta = 0$ (data tidak stasioner)

$H_1: \delta \neq 0$ (data telah stasioner)

Statistik uji:

$$t = \frac{\hat{\delta} - \delta}{SE(\hat{\delta})} \sim t_{n-1} \quad (2.9)$$

dengan:

δ : parameter

$\hat{\delta}$: penaksir kuadrat terkecil dari δ

$SE(\hat{\delta})$: kesalahan standar error dari $\hat{\delta}$

Kriteria keputusan jika $p - value < \alpha$ atau $|t_{hit}| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$, maka H_0 ditolak (Ramadhan, 2019).

Alat utama untuk mengidentifikasi dari data yang ingin kita ramalkan dalam metode runtun waktu adalah menggunakan fungsi autokorelasi dan fungsi autokorelasi parsial. Menurut Montgomery dkk (2015), untuk suatu data deret waktu X_1, X_2, \dots, X_t maka fungsi autokorelasinya seperti pada Persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\rho_k = \frac{Cov(X_t, X_{t+k})}{\sqrt{Var(X_t)}\sqrt{Var(X_{t+k})}} = \frac{E(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)}{\sqrt{E(X_t - \mu)^2}\sqrt{E(X_{t+k} - \mu)^2}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (2.10)$$

dengan:

- μ : rata-rata
- γ_k : autokovariansi pada lag k
- ρ_k : autokorelasi pada lag k
- t : waktu pengamatan

Nilai *partial autocorrelation function* pada lag k adalah

$$\phi_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} \rho_j} \tag{2.11}$$

dengan ϕ_{kk} adalah autokerasi parsial antara X_t dan X_{t-k}

Berikut ciri-ciri teoritis ACF dan PACF untuk proses stasioner ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3 Ciri-ciri teoritis ACF dan PACF untuk proses stasioner

Model	ACF	PACF
MA (q)	Terpotong setelah lag q	Turun secara eksponensial atau membentuk gelombang sinus
AR (p)	Turun secara eksponensial atau membentuk gelombang sinus	Terpotong setelah lag p
ARMA (p, q)	Turun cepat setelah lag ($q - p$)	Turun cepat setelah lag ($p - q$)

Sumber: Montgomery dkk., 2015

2.4 Peta kendali Residual

Dalam penelitian, Alwan dan Roberts (1988) mengusulkan untuk memodifikasi teknik pembuatan peta SPC untuk memperbaiki sebagian masalah yang terkait dengan sampel autokorelasi dengan menyesuaikan model deret waktu yang sesuai dengan data dan kemudian menerapkan peta kendali Residual kedalam model.

Jika model deret waktu memberikan kecocokan yang baik, maka akan menghilangkan autokorelasi, sehingga dihasilkan residual independen. ACF dan PACF untuk residual dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$r_i = \hat{y}_i - y_i \quad (2.12)$$

dengan:

\hat{y}_i : estimasi parameter y_i

y_i : nilai pada data awal (U_i)

Moving range dapat didefinisikan sebagai:

$$R = |(r_i) - (r_{i-1})| \quad (2.13)$$

Adapun rata-rata *moving range* didefinisikan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=2}^N R_i}{N - 1} \quad (2.14)$$

dengan:

N : jumlah data

Untuk pembuatan peta kendali Residual untuk garis tengah peta kendali Residual adalah pada titik nol. Menurut Feigenbaum (1991) untuk menentukan batas kontrol atas dan bawah pada peta kendali Residual dengan menggunakan 3-sigma, hubungan \bar{R} dengan standar deviasi sebagai berikut:

$$3\sigma = 3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.15)$$

dengan $d_2 = 1,128$ diperoleh dari tabel batas kendali 3-sigma sehingga nilai batas kontrol dapat digambarkan sebagai berikut:

$$UCL = \bar{r} + \frac{3}{d_2} \bar{R} \quad (2.16)$$

$$LCL = \bar{r} - \frac{3}{d_2} \bar{R}$$

dengan:

\bar{r} : nilai rata-rata residual

\bar{R} : nilai rata-rata *moving range*

Jika semua titik berada di dalam batas kendali, diasumsikan peramalan data yang dihasilkan telah cukup.

2.5 Peta Kendali *Moving Centerline Demerit* (MCD)

Alternatif untuk pendekatan di atas adalah dengan menggunakan model EWMA sebagai perkiraan model deret waktu umum yang mempertahankan peta kendali tunggal yang ekuivalen. Pada penelitian Nembhard dan Nembhard (2000), untuk membuat peta kendali MCD dengan menghitung nilai rata-rata cacat per unit menggunakan Persamaan (2.2). Model EWMA dengan nilai rata-rata cacat yang terkait dengan sampel i sebagai berikut:

$$W_i = \lambda U_i + (1 - \lambda)W_{i-1} \quad (2.17)$$

dengan:

i : 1,2,3 ..., m

λ : nilai pembobot dengan $0 < \lambda \leq 1$ perkiraan satu langkah kedepan

U_i : nilai rata-rata cacat per unit.

W_0 : rata-rata data awal (U_i)

Jika W_i diramalkan untuk pengamatan pada periode $i + 1$, maka prediksi masa depan ini dilambangkan dengan

$$\widehat{W}_{i+1}(i) = W_i \quad (2.18)$$

Kesalahan prediksi residual satu langkah kedepan mengikuti metode dari Mastrangelo dan Montgomery (1995) yaitu $e_i = U_i - \widehat{W}_i(i - 1)$, didistribusikan secara independen dan tidak berkorelasi dengan rata-rata nol dan standar deviasi.

Peta kendali EWMA dapat diterapkan pada data autokorelasi karena EWMA adalah prediktor satu langkah maju yang optimal untuk kelas tertentu dari model deret waktu yang melibatkan autokorelasi dan prediktor yang masuk akal untuk model yang lebih umum. Peta MCD kemudian dirancang dengan menggunakan prediktor satu langkah ke depan sebagai garis tengah untuk periode $i + 1$ dengan tiga sigma pada batas kendali atas dan batas kendali bawah:

$$\begin{aligned} UCL_{i+1} &= W_i + 3\sigma_p \\ LCL_{i+1} &= W_i - 3\sigma_p \end{aligned} \quad (2.18)$$

Untuk memperkirakan σ_p dengan menggunakan standar deviasi tetap dari satu langkah ke depan dengan mengakar kuadrat dari jumlah kesalahan prediksi dibagi dengan jumlah pengamatan:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (U_i - \hat{W}_i(i-1))^2}{N}} \quad (2.20)$$

dengan:

N : jumlah data

U_i : nilai rata-rata cacat per unit

\hat{W}_i : predeksi EWMA

i : 1,2,3 ..., m

Batas kendali dihitung, kemudian diplot ke depan untuk perbandingan pada periode berikutnya.

2.6 Data Wadah Plastik Anti Bocor

Data ini menceritakan tentang investigasi dalam operasi industri dimana cetakan injeksi menghasilkan berbagai macam model wadah plastik anti bocor, setiap wadahnya memiliki tiga segel yaitu segel luar, segel tengah dan segel dalam. Tujuan dari segel adalah untuk menjaga cairan di dalam wadah plastik tersebut agar tidak terjadi kebocoran, wadah dianggap baik selama cairan uji ditampung oleh setidaknya salah satu segel.

Wadah plastik anti bocor dapat memiliki beberapa kebocoran segel misalnya untuk mendapatkan kebocoran pada segel tengah harus ada kebocoran segel dalam terlebih dahulu. Untuk alasan ini, sistem demerit digunakan untuk menetapkan bobot sesuai dengan tingkat kegagalan segel. Data dikumpulkan sedemikian rupa sehingga hanya kegagalan paling parah yang dicatat untuk setiap bagian tertentu, sehingga jenis kegagalan berbeda satu sama lain. Misalnya, kebocoran segel tengah hanya sebagai kebocoran segel tengah dan bukan sebagai kebocoran segel tengah dan segel dalam. Oleh karena itu, sebuah wadah dicatat memiliki paling banyak satu dari tiga jenis ketidaksesuaian kualitas.